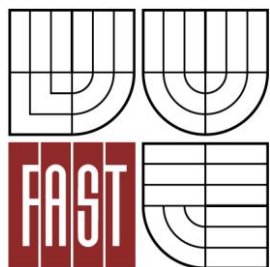




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

VYHODNOCOVÁNÍ DOPRAVNÍHO HLUKU A JEHO MODELOVÁNÍ

EVALUATION AND MODELLING OF TRAFFIC NOISE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. ADAM ČERNOCH

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. JAN KUDRNA, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Adam Černoch
Název	Vyhodnocování dopravního hluku a jeho modelování
Vedoucí diplomové práce	prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	17. 1. 2014
V Brně dne 31. 3. 2013	

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Soubor norem ČSN EN 11819 Měření hluku

Dostupná literatura

Data z měření metodou CPX a SPB

Program na modelování šíření hluku

Zásady pro vypracování

Cílem je provedení měření a vyhodnocení emisí valivého hluku vozidel na různých úpravách povrchů cemetobetonových a asfaltových vozovek. Požadovanými výstupy jsou vyhodnocené přínosy různých vyvíjených protihlukových úprav povrchů a jejich porovnání s jinými protihlukovými opatřeními.

Předepsané přílohy

.....
prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Úkolem diplomové práce je seznámení s problematikou dopravního hluku, se zaměřením na hluk ze silniční dopravy. Je zde popsáno, co je to hluk, jak vzniká, jeho zdroje a jaké existují metody jeho měření. Dále jsou uvedena různá protihluková opatření, jako například protihlukové stěny nebo nízkohlučné kryty. Hlavní pozornost je věnovaná hluku vznikajícího na styku pneumatika/vozovka, který je těmito kryty redukován. V praktické části jsou popsána realizovaná měření na jednotlivých úsecích v různých lokalitách naší republiky. Měření probíhalo mírně modifikovanou metodou CPX s referenční pneumatikou přímo na vozidle. Hlavní cílem bylo vyhodnocení hodnot měření, porovnat jednotlivé nízkohlučné povrchy mezi sebou a s povrchy běžně používanými. Dále pak vyčíslení míry snížení emisí hluku pro daný úsek a také ověření vstupních dat pro účel modelování hluku. Závěrem byly zjištěné výsledky shrnuty a na jejich základě byly potvrzeny velmi dobré protihlukové vlastnosti s doporučením pokračovat s měření i v budoucnu.

Klíčová slova

Dopravní hluk, rozhraní pneumatika/vozovka, hladina akustického tlaku, emise, protihlukové, metoda CPX, frekvenční spektrum, pryžový granulát, referenční, vyhodnocení, obrusná vrstva, váhový filtr

Abstract

The task of the master's thesis is introduction with the problems of traffic noise, focusing on noise from road traffic. There is a description what is the noise, how it is formed, its resources and what are the methods of measuring. The following are the various noise reduction measures such as noise barriers and low noise pavements. The main attention is devoted to the noise generated at the tire / road that is reduced by these pavements. The practical part describes the implemented measurements on individual sections at various locations in our country. The measurement was carried by slightly modified method CPX with reference tire directly at the vehicle. The main aim was to evaluate the measurement data, make comparison of different low-noise surfaces with each other and with the commonly used surfaces. Then quantification of the rate reduction of the noise emission for a given section and verification of input data for noise modeling. In conclusion, the obtained results are summarized and based on them were confirmed very good acoustic properties with the recommendation to continue with measurements in the future.

Keywords

Traffic noise, tire/pavement interface, sound pressure level, emission, low noise, CPX method, frequency spectrum, crumb rubber, reference, evaluation, wearing course, weighting filter

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Adam Černoch *Vyhodnocování dopravního hluku a jeho modelování*. Brno, 2014. 102 s.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací.
Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17.1.2014

.....
podpis autora

Bc. Adam Černoch

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat prof. Ing. Janu Kudrnovi, CSc. za trpělivé a odborné vedení, cenné rady a ochotu mi vždy věnovat svůj čas při řešení problémů v rámci zpracovávání diplomové práce. Dále panu Ing. Karlovi Spiesovi za zasvěcení do problematiky měření metodou CPX a za jeho rady při vyhodnocování výsledku, pak také doktorandovi Ing. Petru Kozákovi za asistenci při měření. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a převážně svým rodičům za finanční i psychickou podporu po celou dobu studia, díky kterým teď mohu psát toto poděkování.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	PROBLEMATIKA HLUKU.....	11
2.1	Hluk a zvuk jako environmentální faktor	11
2.2	Základní veličiny zvuku/hluku	12
2.2.1	Akustický tlak	12
2.2.2	Hladina akustického tlaku (SPL – sound pressure level)	13
2.2.3	Ekvivalentní hladina akustického tlaku	13
2.2.4	Intenzita	15
2.2.5	Akustický výkon	15
2.3	Hygienické limity hluku	16
2.3.1	Stará hluková zátěž	18
2.4	Hlavní zdroje hluku	18
3	HLUK ZE SILNIČNÍHO PROVOZU	18
3.1	Mechanismy vzniku a šíření valivého hluku	21
3.1.1	Konstrukce pneumatiky	21
3.2	Primární zdroje automobilového hluku (vytvářející hluk)	22
3.2.1	Náraz dezénového bloku.....	22
3.2.2	Air pumping – sání vzduchu.....	22
3.2.3	Tření mezi pneumatikou a povrchem (Stick - slip)	23
3.2.4	Adheze (Stick-snap).....	24
3.3	Sekundární zdroje automobilového hluku (zesilující hluk).....	24
3.3.1	Zesílení účinků pomocí tzv. „horn effectu“ (efektu trubky).....	24
3.3.2	Píšťaly a Helmholtzovy rezonátory	25
3.3.3	Vibrace kostry pneumatiky	25
3.3.4	Vnitřní akustická rezonance	26
3.4	Zdroje hluku v závislosti na frekvenci.....	26
3.5	Shrnutí.....	26
4	MOŽNÁ OPATŘENÍ VEDOUcí KE SNÍŽENí DOPRAVNíHO HLUKU	27
4.1	Urbanisticko – architektonická protihluková opatření.....	29
4.2	Urbanisticko – dopravní protihlukové opatření	29
4.3	Dopravně – organizační protihlukové opatření	30
4.4	Stavebně – technická protihluková opatření	31
4.4.1	Protihlukové stěny (PHS)	32
4.4.1.1	Požadavky na akustické vlastnosti PHS.....	33
4.4.1.2	Vzduchová neprůzvučnost	33

4.4.1.3	Zvuková pohltivost	33
4.4.1.4	Používané materiály protihlukových stěn	34
4.4.1.5	PHS dle materiálu	34
4.4.1.5.1	Železobetonové a dřevocementové protihlukové stěny	34
4.4.1.5.2	Hliníkové systémy protihlukových stěn	35
4.4.1.5.3	Protihlukové stěny z plastů a recyklovaných plastů.....	35
4.4.1.5.4	Protihlukové stěny ze sklovláknobetonu	35
5	PROTIHLUKOVÁ ŘEŠENÍ OBRUSNÝCH VRSTEV	36
5.1	Porézní asfaltové vozovky (PA)	37
5.2	Tenké vrstvy s malou frakcí kameniva	38
5.3	Texturování pro snížení hluku	39
5.4	Poro-elastické povrchy	39
5.5	Asfaltové směsi s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem (CRmB)	39
5.5.1	Úvod	39
5.5.1.1	Typy gumoasfaltových směsí.....	42
5.6	Nátěrové technologie	45
5.7	Vymývaný beton.....	45
5.8	Další protihlukové kryty	46
5.8.1	Nízkohlučný asfaltový koberec mastixový SMA LA (LA = Lärmarm).....	46
5.8.2	Viaphone.....	47
6	VÝPOČTOVÉ MODELOVÁNÍ DOPRAVNÍHO HLUKU	47
7	METODY MĚŘENÍ DOPRAVNÍHO HLUKU	49
7.1	Statistical Passby (SPB)	49
7.2	Controlled Passby (CPB)	52
7.3	Coast-By (CB)	52
7.4	Close-Proximity method (CPX).....	53
7.5	Close Proximity Sound Intensity (CPI)	54
7.6	On Board Sound Intensity method (OBSI).....	55
7.7	Metoda měření hluku pomocí časových intervalů	55
7.8	Laboratorní měření	55
8	REALIZOVANÁ MĚŘENÍ.....	56
8.1	Měření v Pardubickém kraji – město Pardubice, Skuteč	59
8.1.1	Popis úseku	59
8.1.2	Vyhodnocení výsledku měření hluku	60
8.1.3	Shrnutí.....	63
8.1.4	Závěr z měření	65
8.2	Měření v kraji Zlínském – Zádveřice, Liptál, Fryšták	70
8.2.1	Zádveřice	70

8.2.1.1	Popis úseku	70
8.2.1.2	Vyhodnocení výsledků měření hluku	71
8.2.1.3	Shrnutí a závěr	75
8.2.2	Liptál	76
8.2.2.1	Popis úseku	76
8.2.2.2	Vyhodnocení výsledků měření hluku	77
8.2.2.3	Závěr	79
8.2.3	Fryšták	80
8.2.3.1	Popis úseku	80
8.2.3.2	Vyhodnocení výsledků měření hluku	81
8.2.3.3	Shrnutí a závěr	81
8.3	Měření v kraji Jihomoravském – město Brno, Česká	82
8.3.1	Brno Veslařská	82
8.3.1.1	Popis úseku	82
8.3.1.2	Vyhodnocení výsledků měření hluku	83
8.3.1.3	Shrnutí a závěr	85
8.3.2	Brno Úvoz	86
8.3.2.1	Popis úseku	86
8.3.2.2	Vyhodnocení výsledků měření hluku	86
8.3.2.3	Shrnutí a závěr	87
8.3.3	Česká	88
8.3.3.1	Popis úseku	88
8.3.3.2	Vyhodnocení výsledků měření hluku	89
8.3.3.3	Shrnutí a závěr	90
8.4	Zhoršování směsí s mezerovitostí	91
8.5	Oprava vstupních údajů pro výpočtové modelování hluku	92
9	ZÁVĚR	93
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	95
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	98
12	SEZNAM GRAFŮ	101
13	SEZNAM TABULEK	102
14	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	102

1 ÚVOD

Pro dnešní společnost se hluk stává vážným problémem. Hluk je každý nechtěný zvuk, který má rušivý nebo obtěžující charakter, vyvolává nepříjemný pocit a může mít škodlivé účinky na lidský organismus. Působení hluku je přesto podceňováno, a to proto, že se jeho účinky projevují většinou s určitým zpožděním a navíc u každého jednotlivce rozdílně podle individuální citlivosti. Hluk vznikající v oblasti dopravy, tedy dopravní hluk, má vliv na kvalitu života lidí žijících v blízkosti pozemních komunikací. Hluk lze považovat za environmentální znečištění, protože snižuje životní úroveň. Hluk působený vozidly má řadu zdrojů, přičemž jedním z nich je hluk vznikající na styku pneumatiky a povrchu vozovky. Při snižování hluku z dopravy lze využít řadu opatření, která zahrnují tradiční a běžné aplikované instalace protihlukových stěn či využití akustických oken nebo fasád, či v České republice dosud méně rozšířené aplikace technologií akustických vozovek, díky kterým lze dosáhnout omezení hladiny hluku o 3 až 8 dB(A). Tyto technologie mají svá specifika, přednosti, ale i nedostatky.

Řešení problematiky dopravního automobilového hluku se během několika posledních let stalo nedílnou součástí při projektování nových pozemních komunikací, rekonstrukcích stávajících tras, ale i při samotném plánování nových obytných celků či boje mnoha občanů a organizací za ochranu veřejného zdraví před hlukem. Je prokázáno, že dopravní hluk má negativní účinky na zdraví obyvatel. Nepříznivé účinky hluku na lidské zdraví jsou obecně definovány jako funkční změny organismu vedoucí ke kardiovaskulárnímu onemocnění, stresu, poruchám spánku a změnám nálad. Všeobecně známým účinkem hluku na zdraví je pak pochopitelně poškození sluchu. K němu může dojít buď při krátkodobém vystavení hluku přesahujícímu 130 dB (o něco větší hluk, než vydává startující letadlo), nebo častému a dlouhodobému vystavování hluku nad 85 dB (např. velmi hlasitá hudba).

Dle průzkumů prováděných v rozsahu Evropské unie je až 40% evropské populace vystaveno takové míře hluku, která může způsobit škody na zdraví. Asi 100.000.000 obyvatel EU je zasaženo nadlimitním hlukem přesahujícím 65 decibelů. Škody způsobené hlukem v rámci Evropské unie se odhadují na 13 až 28 miliard euro. Jen v Praze je nadlimitním hlukem zasaženo kolem 7,6 % obyvatel, tedy přes 94.000 lidí. Dlouhodobý dopravní hluk je v Evropě příčinou 3% všech úmrtí na srdeční selhání. Je tedy důležité se před hlukem co nejvíce chránit.

Dopravní hluk lze rozdělit na hluk automobilový, z železniční dopravy a leteckého provozu. A právě u automobilového neboli silničního hluku jsou pozemní komunikace považovány za liniový zdroj hluku. Obyvatelé žijící v blízkosti jsou často zasaženi místy nadlimitními hodnotami, a tudíž se snižuje kvalita života těchto obyvatel. U extravilánových komunikací se tato nepříznivá situace řeší obchvatem, vybudováním nové protihlukové zdi, zemních valů či výměnou oken apod. Ovšem

ve městech je situace poněkud složitější, kde jsou silně dopravně zatížené komunikace uvnitř měst (intravilán) obklopeny obytnými budovami. Jako možnost snížení hladiny hluku se nabízí zamezení vjezdu těžké nákladní dopravy, snížení rychlosti, výměna oken nebo díky zkušenostem získaných z Evropy a USA provádět realizaci tzv. „tichých krytů“, které jsou schopny svou strukturou účinně redukovat hluk vznikající na styku pneumatika/vozovka. Tato technologie je však stále poměrně nová, a je tedy otázkou, jaké výsledky z hlediska snižování hlučnosti bude podávat do budoucna. Každopádně první měření na zkušebních úsecích poukazují na to, že by se mohlo jednat o krok správným směrem. [2][1][31]

Pro představu:

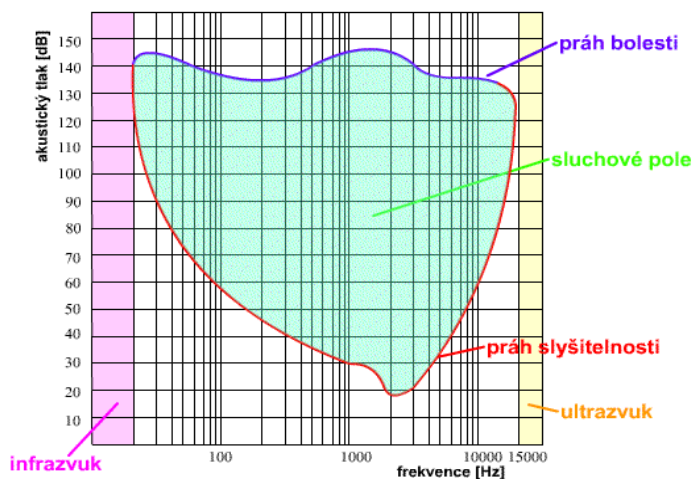
- Snížení hluku o 3 dB znamená stejné snížení jako by došlo ke snížení intenzity dopravy na polovinu nebo snížení rychlosti vozidel z 60 km/h na 50 km/h.
- Snížení hluku o 6 dB znamená snížení intenzity vozidel na jednu čtvrtinu nebo pro stejnou hlučnost je možno zvýšit rychlost vozidel ze 40 km/h na 60 km/h

2 PROBLEMATIKA HLUKU

2.1 Hluk a zvuk jako environmentální faktor

Pojem hluk by neměl být zaměňován s pojmem zvuk. Zvuk je mechanické vlnění v látkovém prostředí (voda, vzduch, pevná látka), které je schopno vyvolat sluchový vjem. Frekvence tohoto vlnění, které je člověk schopen vnímat, jsou značně individuální a leží v intervalu přibližně 16 Hz až 20 000 Hz. Mechanické vlnění mimo tento frekvenční rozsah sluchový vjem nevyvolává, přesto se někdy také označuje jako zvuk. Zvuky pod hranici 16 Hz označujeme jako infrazvuk, zvuky nad hranici 20 000 Hz jako ultrazvuk. Děje, které jsou spojeny se vznikem zvuku jeho šířením a vnímáním, se nazývají akustika a stejný název má i věda, která tyto děje zkoumá.

Hluk, jak již bylo napsáno v úvodu, je každý nechtěný zvuk, který má rušivý nebo obtěžující charakter, vyvolává nepříjemný pocit a může mít škodlivé účinky na lidský organismus. Může být, jak přirozeným projevem přírodních jevů, tak důsledkem lidských aktivit. Nejčastějším zdroje hluku jsou průmysl, stavební činnost, bydlení, hudba a v neposlední řadě doprava. Jako zdroje



Obr. 2.1 : Sluchové pole [22]

hluku nezávislé na lidské činnosti můžeme uvést proudění vzduchu, vody nebo nejrůznější projevy fauny. [8] [11] [31]

2.2 Základní veličiny zvuku/hluku

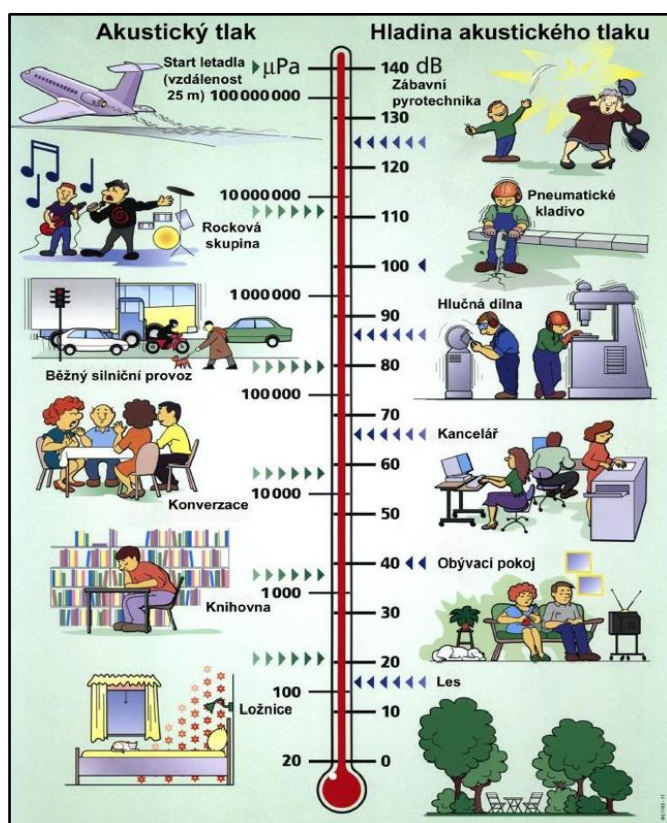
2.2.1 Akustický tlak

Je efektivní hodnota jeho časového průběhu, superponovanému k barometrickému tlaku (nulová hodnota je rovna barometrickému tlaku). Jednotkou akustického tlaku je pascal - [Pa].

Barometrický tlak je hodnota přibližně 100 000 Pa, kdežto akustický tlak je veličina o mnoho řádů nižší. Zdravé lidské ucho začíná vnímat akustické tlaky od hodnot $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, což je v porovnání s barometrickým tlakem hodnota téměř zanedbatelná.

$$p(x,t) = p_0 \cdot \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \right]$$

Hladina akustického tlaku L_p klesá s rostoucí vzdáleností od bodového zdroje zvuku s hladinou akustického výkonu L_w . [14][16][17]



Obr. 2.2 : Souvislost mezi akustickým tlakem a hladinou akustického tlaku [34]

2.2.2 Hladina akustického tlaku (SPL – sound pressure level)

Hladina akustického tlaku (SPL) je logaritmická míra efektivního akustického tlaku zvuku ve vztahu k referenční hodnotě. Měří se v decibelech (dB) nad standardní referenční úrovní.

Decibel je logaritmická poměrová jednotka, která byla původně definována pro poměr výkonů. Člověk vnímá podměty logaritmicky jejich intenzitě, v rozsahu sedmi řádů akustického tlaku. Nejmenším uchem rozlišitelná změna zvuku je přibližně 1 decibel. Protože za základní jednotku nebyl zvolen bel, ale decibel, musí se logaritmus vynásobit deseti. Pokles o hodnotu 3 dB značí poloviční výkon naopak zesílení o 3 dB je dvojnásobný výkon.

Nejslabší zvukový signál, který je ještě schopen zaznamenat nepoškozený lidský sluch, odpovídá dvaceti miliontinám základní jednotky tlaku 1 Pa, což je akustický tlak 20 μ Pa. Tato hodnota je 5.109 krát menší než normální barometrický tlak. Změna tlaku o 20 μ Pa je tak malá, že vyvolává vychýlení membrány lidského sluchového orgánu o hodnotu menší než je průměr jednoho jediného atomu. Lidské ucho je schopno snášet akustické tlaky více než 106 krát větší. Navíc lidský sluchový orgán rozlišuje tzv. barvu zvuku, což souvisí se schopností rozpoznávat zvuky různých kmitočtů. Pro akustický tlak byla zavedena příslušná hladina, kterou je nutno vztahovat vždy k určitému kmitočtu, nebo pásmu kmitočtů, jinak nemá pouhý údaj hladiny akustického tlaku význam, neboť nevypovídá nic o poloze signálu na kmitočtové ose. Hladina akustického tlaku L_{pA} (váhový filtr A) jejíž jednotkou je decibel [dB] je definována vztahem:

$$L_{pA} = 10 \cdot \log\left(\frac{p^2}{p_{ref}^2}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{p}{p_{ref}}\right)$$

p - měřený akustický tlak

p_{ref} - referenční tlak (pro vzduch $p_{ref} = 2 \cdot 10^{-5}$)

[11][14]

2.2.3 Ekvivalentní hladina akustického tlaku

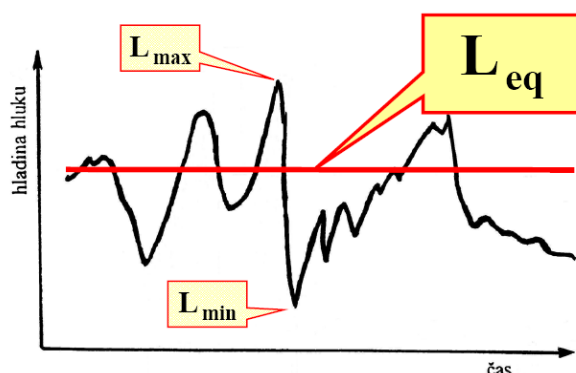
Vzhledem k tomu, že hluk potřebujeme vyjádřit jako jednu hodnotu za delší časové období, zavádíme ekvivalentní hladinu akustického tlaku L_{eq} . Nebo také „Ekvivalentní hladina se používá pro charakterizování zvukových polí s časově proměnnou intenzitou. Z fyziologického hlediska tomu nejvíce vyhovuje energetická střední hodnota.“ Ekvivalentní hladina akustického tlaku L_{Aeq} (filtr A) je nejdůležitějším akustickým parametrem pro popis hluku v životním prostředí. Má logaritmický průběh a stanoví se ze vztahu pro hladinu akustického tlaku (L_{pA}). Je vždy vztažena k

určitému časovému intervalu. Ekvivalentní hladina akustického tlaku L_{Aeq} je hladina akustického tlaku měřená při použití váhového filtru A, který koriguje naměřené hodnoty akustického tlaku podle charakteristiky lidského ucha (zvuk v různých kmitočtech je sluchem vnímán nestejnou citlivostí). Váhový filtr A je aproximací křivek stejné hlasitosti pro oblast nízkých hladin akustického tlaku a je nejčastěji používán i mezinárodně. Ekvivalentní hladina hluku zobecňuje celkovou expozici, tj. nejen hladinu hluku, ale i jeho časové působení. Vyjadřuje se vztahem:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \cdot n_{ri} \right)$$

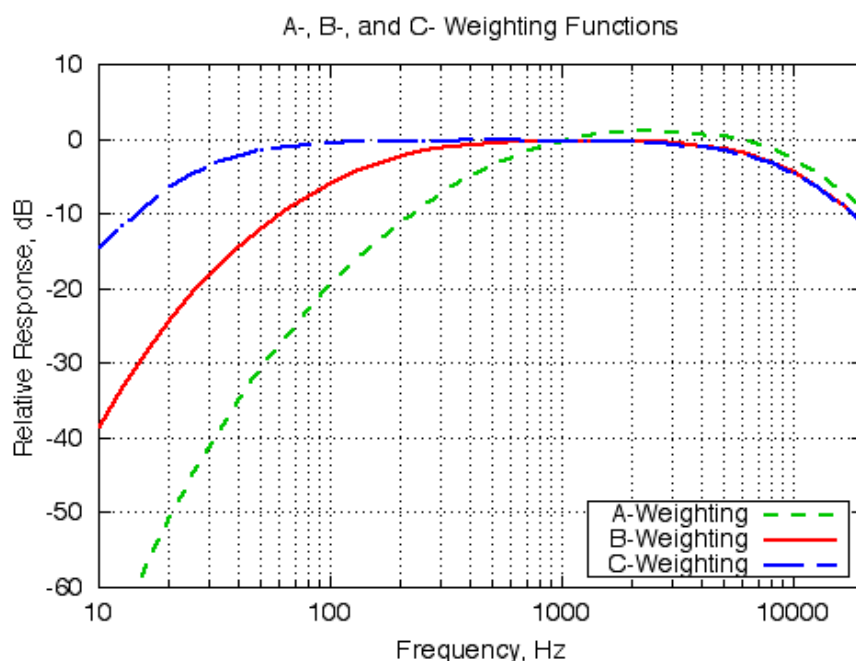
n_{ri} - je relativní počet výskytu hladiny L_i ,
 n - je počet měřených hladin
 L_i - je střední hladina hluku v i-tém intervalu.

Ekvivalentní hladina hluku je tedy střední hodnotou logaritmické sumy všech hladin hluku rozdělených v měřeném intervalu. [14][15][24] [29]



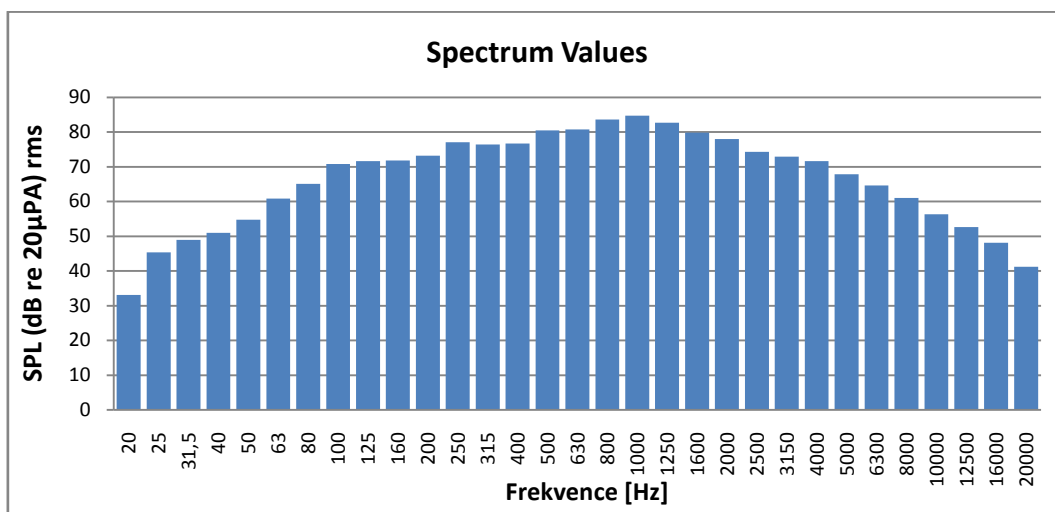
L_{max} [dB] - maximální hodnota hladiny akustického tlaku za sledovaný časový interval
 L_{min} [dB] - minimální hodnota hladiny akustického tlaku za sledovaný časový interval
 [24]

Obr. 2.4 : Ekvivalentní hladina akustického tlaku [24]



Obr. 2.3 : Křivky váhových filtrů A,B,C; A- nejrozšířenější, B,C - historické [35]

Soubor hodnot sledované akustické veličiny v závislosti na frekvenci se nazývá spektrum hluku.



Obr. 2.5 : Frekvenční spektrum hladiny hluku

2.2.4 Intenzita

Intenzitu hluku můžeme definovat jako energii protékající jednotkovou plochou za jednotku času. Jednotkou intenzity hluku je watt na m² - [W/m²].

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c}$$

p^2 - kvadratická střední hodnota tlaku

ρ - měrná hmotnost vzduchu [kg/m³]

c - rychlost zvuku ve vzduchu [m/s] [22]

2.2.5 Akustický výkon

Akustický výkon (dříve značen P) je měřítkem celkové akustické energie, která je vyzářena ze zdroje nebo která prochází danou plochou. Je základní a nejdůležitější veličinou popisující akustické vlastnosti zdroje zvuku. Jednotkou akustického výkonu je watt - [W].

$$P_a = I \cdot S$$

S - plocha o poloměru r obklopující zdroj [m²]

P_a - celkový výkon [W]

I - intenzita [W/m²] [22][14]

2.3 Hygienické limity hluku

Základem určující účinek hluku je jeho intenzita. Intenzita hluku má nepříznivý vliv na zdraví a psychickou pohodu člověka. Ovlivňuje sociálního chování a zejména snižuje psychický výkon. Při dlouhodobém působení způsobuje hluk stres, rozmrzelost, únavu, depresi a dokonce i hypertenzi. Hluk se z hlediska ohrožení člověka řadí ihned za znečištění ovzduší a ochranu povrchových vod. Doprava způsobuje 85-90% veškerého hluku. Intenzita hluku je závislá na denní době, se kterou se mění. Člověk se necítí dobře v prostředí s nezvykle nízkou hladinou akustického tlaku. Při působení průměrné ekvivalentní hladiny akustického tlaku (L_{Aeq}) v obytných místnostech do 25 dB(A) v noci a do 35 dB(A) přes den nedochází k žádnému nežádoucímu zdravotnímu vlivu na organismus člověka. Hladinu 30 dB hodnotí lidé jako příjemné ticho. Ovšem pokud dojde k otevření oken, tak se hladina hluku zvýší až o 10 dB. Při ekvivalentní hladině hluku převyšující ve dne ve venkovním prostředí 55 dB(A) se začínají projevovat výše uvedené zdravotní problémy. Dochází k částečnému ovlivnění komunikace mezi lidmi, která je důležitým aspektem při vývoji osobnosti. Při dalším zvyšování hladiny hluku se postupně začínají projevovat závažnější zdravotní obtíže. V této fázi není rozhodujícím prvkem pouze intenzita hluku, ale začíná se k ní připojovat i doba jeho působení. Mezi velmi časté jevy v tomto ohledu patří poruchy spánku a dle studií může být vystavení dopravnímu hluku jedním ze spouštěcích prvků infarktu myokardu, jehož riziko se při delším působení hladiny hluku vyšší než 65 dB zvyšuje až o 30%. K poškození sluchu může vést už i dlouhodobé vystavování se hluku kolem 70 dB, což je běžná úroveň hluku podél hlavních silnic. Tudíž za hlavní příčinu sluchové ztráty není již v současné době považováno stárnutí, ale hluková zátěž. Poškození sluchu je přitom většinou nevratné. Při 130 dB se obvykle účinky hluku mění na bolesti ve sluchovém orgánu. Jedno z největších nebezpečí hluku je v tom, že člověk v podstatě nemá proti němu žádné obranné funkce, proto je velice důležité redukovat hladinu hluku přímo u zdroje jeho vzniku. [3] [14][15][23][29][31][32]

Hygienický limit venkovního hluku v ekvivalentní hladině akustického tlaku, s výjimkou hluku z leteckého provozu, se stanoví aritmetickým součtem základní hladiny akustického tlaku L_{AeqT} 50 dB a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného prostoru a denní či noční době podle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. Noční doba pro účely ochrany zdraví před hlukem a vibracemi a kontroly dodržování příslušných opatření je mezi 22 a 6 hodinou [22]

- Imisní limity lze považovat za mez přijatelného rizika, nikoliv za bezpečný práh.
- Jsou určitým společenským kompromisem a jejich překročení neznamená akutní poškození zdraví.

- Rozhodování o limitu v rámci politického normativního procesu jen zčásti vychází z vědeckých podkladů, ale bere v úvahu i ekonomická omezení a sladění konkurujících si zájmů ve společnosti.
- Kompromis hledisek
 - Ochrana veřejného zdraví
 - Restrikce vůči provozovatelům zdrojů hluku
 - Uvážení reálné situace
 - Protihluková opatření technicky realizovatelná a finančně dostupná

Venkovní hluk	Den (6:00 - 22:00)	Noc (22:00 - 6:00)
Základní limit - pro hluk jiný než z dopravy	50 dB	40 dB
Pro hluk ze silniční dopravy	55 dB	45 dB
Pro hluk ze železniční dopravy	55 dB	50 dB
Pro hluk z hlavních silnic	60 dB	50 dB
Pro hluk v ochranných pásmech drah	60 dB	55 dB
Pro starou hlukových zátěž	70 dB	60 dB
Pro starou hlukovou zátěž z železničních drah	70 dB	65 dB

Tab. 1 : Hygienické limity venkovního hluku

Hygienický limit vnitřního hluku v ekvivalentní hladině akustického tlaku se stanoví aritmetickým součtem základní hladiny akustického tlaku L_{AeqT} 40 dB a korekcí přihlížejících ke druhu chráněného prostoru a denní či noční době podle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [22]

Vnitřní hluk	Den (6:00-22:00)	Noc (22:00-6:00)
Základní limit	40 dB	30 dB
Pro hluk ze silniční dopravy (neplatí pro stavby dokončené po 1.6.2006, u nich se použije základní limit)	45 dB	35 dB
Pro hluk z hudby, zpěvu a řeči	35 dB	25 dB
Nemocniční pokoje	40 dB	25 dB
Operační sály	40 dB	40 dB
Lékařské vyšetřovny, ordinace	35 dB	35 dB
Obytné místnosti	40 dB	30 dB
Hotelové pokoje	50 dB	40 dB
Přednáškové síně, učebny a pobytové místnosti škol, jeslí, mateřských škol a školských zařízení	45 dB	45 dB
Koncertní síně, kulturní střediska	50 dB	50 dB
Čekárny, vestibuly veřejných úřadoven a kulturních zařízení, kavárny, restaurace	55 dB	55 dB
Prodejny, sportovní haly	60 dB	60 dB

Tab. 2 : Hygienické limity vnitřního hluku

2.3.1 Stará hluková zátěž

Hluk v chráněném venkovním prostoru a chráněných venkovních prostorech staveb, který vznikl před 1. lednem 2001 a je působený dopravou na pozemních komunikacích a drahách. Platí nově i pro nástavby a přístavby stávajících objektů a pro dostavby proluk a výstavbu ojedinělých objektů v rámci dostavby center obcí a jejich historických částech. [12]

2.4 Hlavní zdroje hluku

Dle druhu zdroje dělíme hluk na:

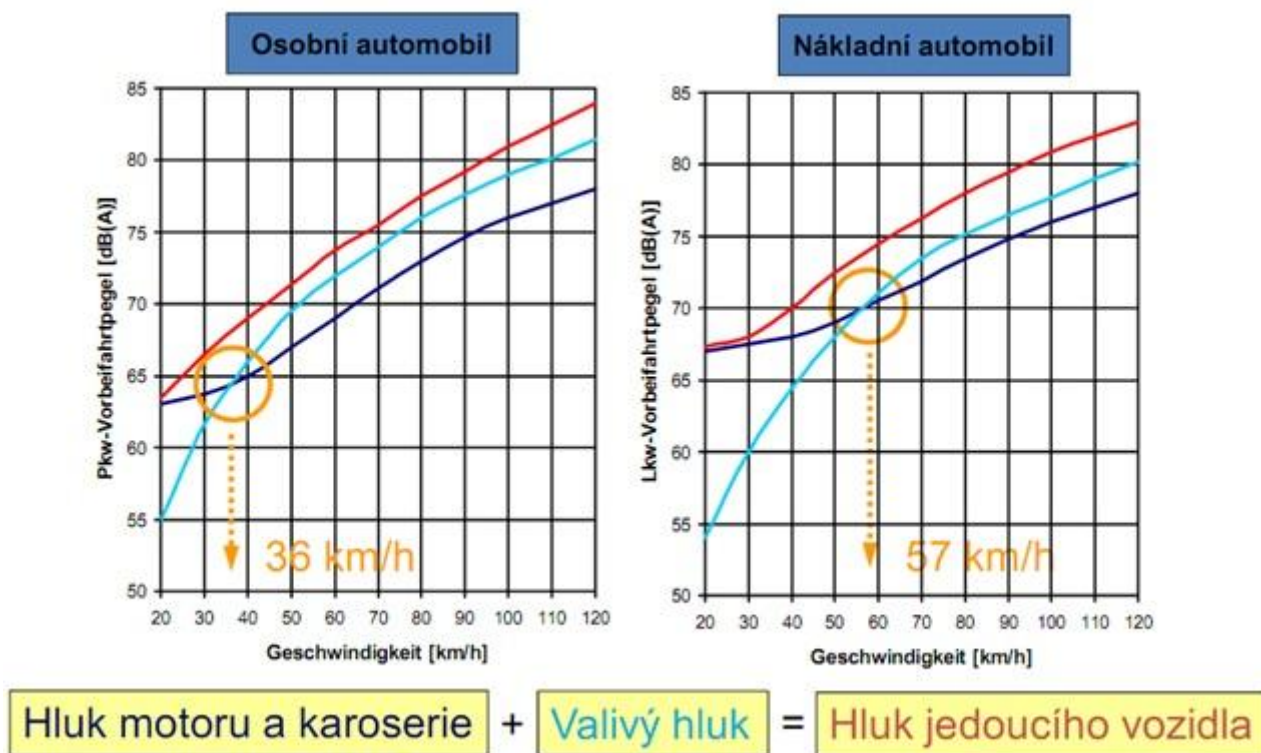
1. **dopravní hluk** – automobilová (silniční), kolejová a letecká doprava
2. **hluk v pracovním prostředí** - ruční mechanizované nářadí (motorové pily, pneumatická kladiva apod.), důlní stroje, hutnictví, strojírenství (obráběcí stroje), textilní průmysl (tkalcovské stavy), vzduchotechnická zařízení, mobilní zařízení, zemědělství, lesnictví aj.
3. **hluk související s bydlením** - vestavěné technické vybavení domu (výtahy, trafostanice, kotelny), sanitárně-technické vybavení domu (koupelny, WC), činnost osob v bytě (hovor, rozhlas, TV, vysavač, kuchyňské stroje, myčky, pračky aj.)
4. **hluk související s trávením volného času** - kulturní a společenská zařízení (divadla, kina, koncertní sály, poutě aj.), sportovní zařízení (např. hřiště, bazény, střelnice), individuální reprodukce a poslech hudby (přehrávače s reproduktory nebo sluchátky). [4]

3 HLUK ZE SILNIČNÍHO PROVOZU

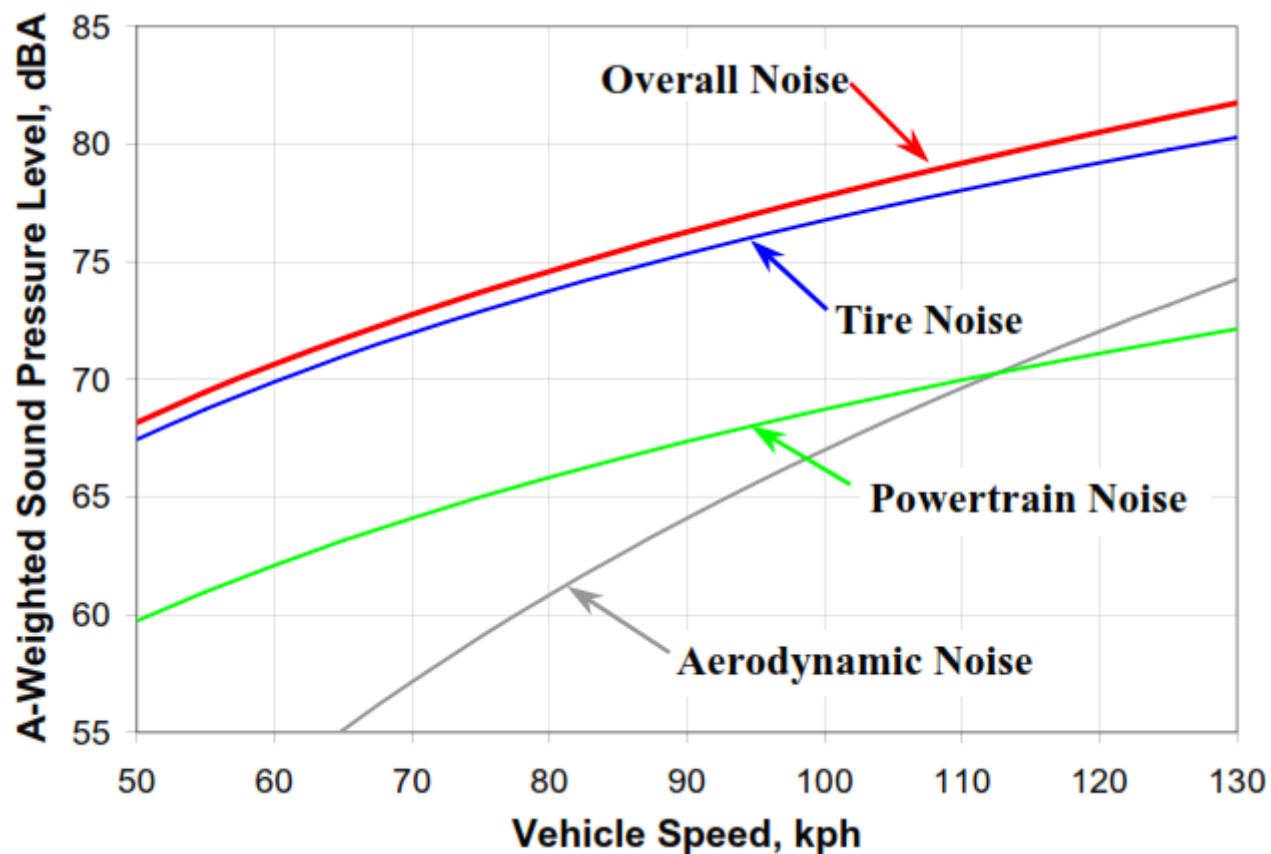
Hluk z dopravy je společné označení pro hluk z leteckého provozu, z kolejové dopravy a automobilový hluk. Automobilový hluk je hluk vznikající provozem silničního dopravního prostředku po pozemní komunikaci. Automobilový hluk můžeme dále rozdělit na vnitřní a vnější. Vnitřní hluk ve vozidle obtěžuje jak řidiče vozidla, tak i cestující. Hladina vnitřního hluku by měla minimálně splňovat požadavek na dobré a příliš nerušené dorozumívání. Můžeme říci, že hladina vnitřního hluku vozidla při jízdě vypovídá o celkovém komfortu vozidla. Na tvorbě vnitřního hluku automobilů se podílí různé zdroje hluku a vibrací. Od zdroje se pak hluk dále dobře šíří jednak vzduchem, tak i kovovou strukturou karosérie a lehce tak proniká i do kabiny. Dle různých zdrojů je klíčovým místem pronikání hluku motoru do interiéru prostor kolem řidičových nohou. Odhlučnění tak spočívá v omezení vibrací kovových částí karosérie, zamezení prostupu hluku do kabiny a pohlcování hluku v místech, kudy by mohl pronikat do kabiny, případně přímo v kabině.

Vnější automobilový hluk obtěžuje obyvatele v sídelních útvarech (sídlíště, domy v městské zástavbě apod.) podél pozemních komunikací. Tento hluk již však podléhá nárokům společnosti na jeho regulaci a udržování ho na přijatelné hranici. Tyto nároky jsou vyjádřeny hygienickými limity a normovým podkladem. Stanovují maximální přípustné hladiny vnějšího hluku z různých typů dopravy nebo hluk přípustný vně budov. Již víme, jak se automobilový hluk dělí, ale dále je také nutné znát zdroje tohoto hluku. Těmi jsou pneumatiky, pohonná jednotka (motor, sání vzduchu, výfukový systém, převodové ústrojí), brzdy a proudění neboli obtékání vzduchu kolem karoserie vozidla. Automobily dosáhly v posledních letech velkého pokroku při snižování hladiny hluku hnací jednotky i automobilu jako celku včetně karoserie. V dnešní době se v popředí zájmu řeší konstrukce pneumatiky, která dostává stálých změn zajišťující zlepšení technických požadavků na bezpečnost provozu při snaze zajistit vyšší hospodárnost a snížit valivý hluk pneumatiky vznikající na styku pneumatika/vozovka. Výrobci se určitým uspořádáním drážek dezénu snaží snížit valivý odpor pneumatiky a tím i její hluk. Do celého procesu vzniku hluku nám tedy vstupuje vozidlo, povrch komunikace a rychlost jízdy. Při nízkých rychlostech, přibližně do 40 km/h u osobních vozidel a do 65 km/h u vozidel nákladních, je dominantním zdrojem hluku hnací jednotka vozidla. Ovšem tato hranice není jednoznačně definována. Tudíž za situace, kdy je komunikace přetížena a tam, kde vozidla nejedou konstantní rychlostí, bude příspěvek z pohonných zdrojů hluku mnohem důležitější, a tudíž jsou za těchto podmínek akustické výhody nízkohlučných povrchů částečně redukovány. Při vyšších rychlostech začíná převládat valivý hluk na styku pneumatika/vozovka. Aerodynamický hluk začíná převažovat až v případě překonání rychlosti 200 km/h. V této souvislosti je důležité zdůraznění rozvoje v oblasti elektromobilů či hybridních pohonů, jelikož s jejich masivnějším uplatněním v následujících 5 - 10 letech lze předpokládat, že se i při malých rychlostech stane dominantní pouze problematika hluku na styku pneumatiky a vozovky. [2][13]

Jak již bylo dříve zmíněno, největší pozornost této diplomové práce je věnována hluku, který vzniká na kontaktní ploše mezi pneumatikou vozidla a povrchem vozovky (valivý hluk), a to z důvodu zkoumání a vyhodnocování hlučnosti různých typů obrusných vrstev. V případě modelování dopravního hluku vstupuje do výpočtu ekvivalentní hladiny akustického tlaku $A - L_{Aeq}$ pro celkový silniční hluk celá řada faktorů, jejichž součástí je právě i ekvivalentní hladina akustického tlaku vznikající od povrchu vozovky.



Obr. 3.1 : Podíl jednotlivých zdrojů dopravního hluku [13]

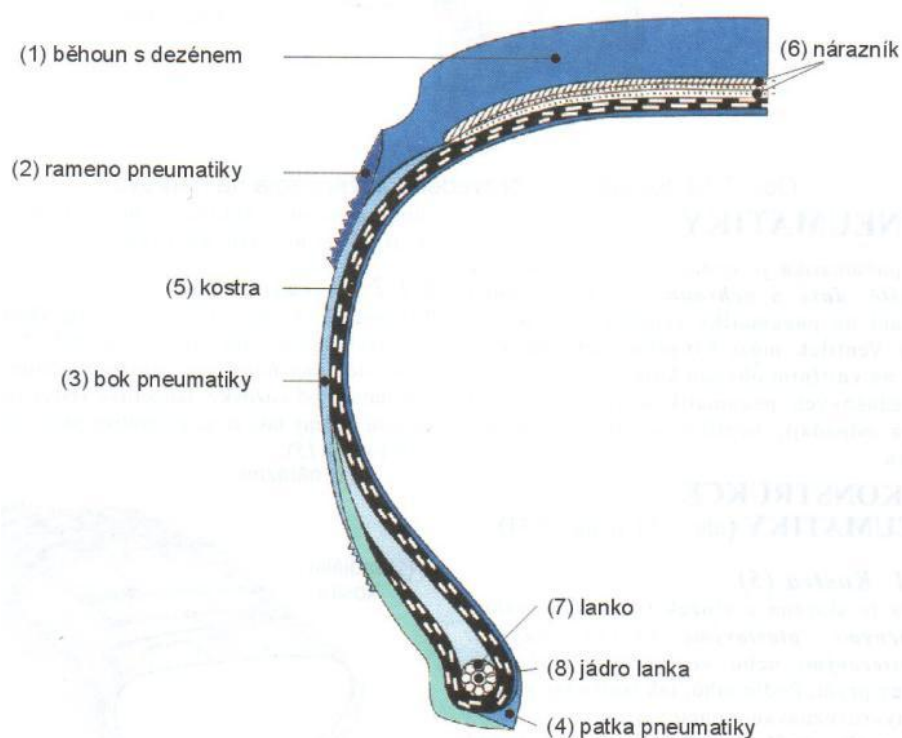


Obr. 3.2 : Příspěvek jednotlivých zdrojů automobilového hluku [19]

3.1 Mechanizmy vzniku a šíření valivého hluku

Zdali bereme v úvahu pouze hluk z interakce (rozhraní) pneumatika/vozovka, může říci, že je zde několik mechanismů vytvářející určitou energii, kterou v našem případě můžeme označit jako hluk. Mechanizmy, které jsou příčinou valivého hluku, vytváří ho, nazýváme primární zdroje hluku. Jako sekundární zdroje hluku označujeme mechanismy, které hluk nevytváří, nýbrž jen zesilují. Důležitým faktorem, který ovlivňuje právě tento typ hluku je konstrukce pneumatiky, kde dezén (vzorek) a materiál společně s celkovou šířkou pneumatika jsou stěžejními prvky k redukci hluku. Valivý hluk je na rozdíl od hluku pohonné jednotky automobilu spojen s povrchem vozovky, jejíž konstrukce ovlivňuje jak vznik, tak šíření hluku zahrnující několik složitých mechanismů. Hlavními faktory jsou textura povrchu a stupeň poréznosti vrstvy, ten určuje míru absorpce zvuku. Hluk na styku pneumatika/vozovka je výsledkem složité interakce mezi odvalováním pneumatiky a povrchem vozovky. Tento proces je hlavní příčinou hluku ze silniční dopravy zejména pro projíždějící vozidla střední až vysokou rychlostí jak je ilustrováno výše. Je zřejmé, že za účelem navrhnout nízkohlučné povrchy vozovek s předvídatelnými a optimalizovanými protihlukovými vlastnostmi, je nutné získat důkladné pochopení mechanismů, kterými se řídí vznik a šíření hluku na rozhraní pneumatika/vozovka. [19]

3.1.1 Konstrukce pneumatiky



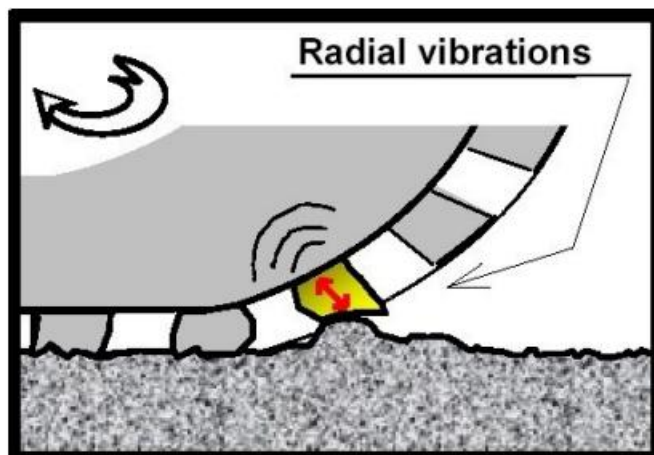
Obr. 3.3 : Konstrukce pneumatiky [30]

3.2 Primární zdroje automobilového hluku (vytvářející hluk)

3.2.1 Náraz dezénového bloku

Každá pneumatika má kolem celého obvodu běhoun s dezénem, který je tvořen soustavou různých drážek a lamel. V motorsportu se ovšem také mohou používat pneumatiky bez dezénu zvané „slick“.

Při jízdě vozidla dochází postupně k nárazu jednotlivých dezénových bloků na povrch vozovky v tzv. kontaktní zóně (Obr.3.4). Náraz dezénových bloků můžeme přirovnat k úderu malého gumového kladívka na povrch vozovky. Tento úder způsobuje radiální vibrace pneumatiky. Jestliže bychom oba materiály (narážející dezénové bloky i povrch vozovky) považovali za pružné, tak by energie vzniklá úderem byla značně redukována.



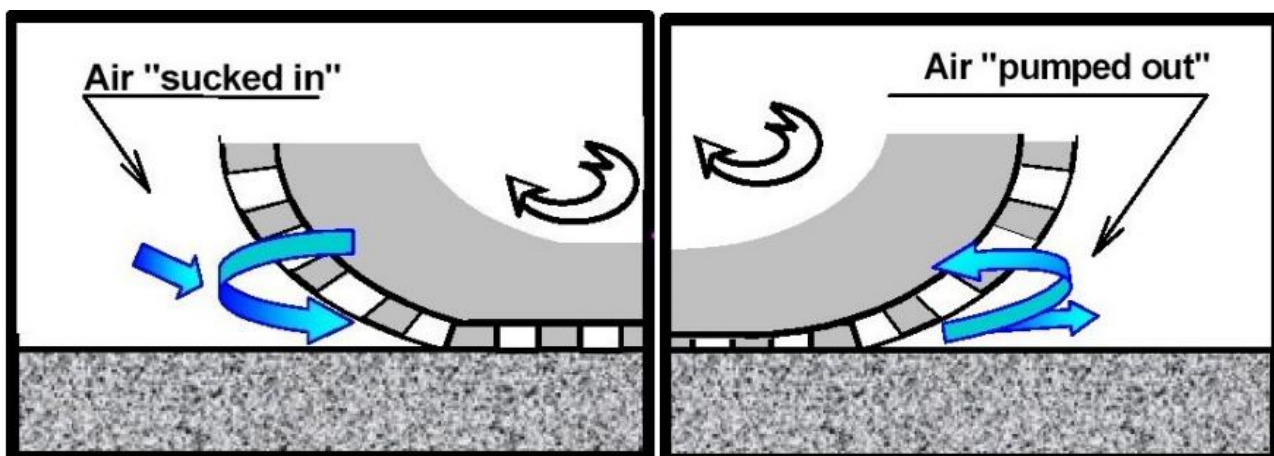
Náhodnost uspořádání zrn kameniva ve

Obr. 3.4 : Vibrace způsobené dopadem bloků dezénu na povrch vozovky [19]

struktuře povrchu vozovky a dezénových bloků pneumatiky může při opakovaném dopadu změnit charakter zvuku a redukovat jeho hlučnost. Při pohybu kola vpřed pneumatika naráží na výstupky (textura) povrchu vozovky, boky pneumatiky se rozvibrují a stávají se zdrojem hluku v rozsahu nízkých frekvencí 500 až 1 000 Hz. Snížení hladiny hluku lze dosáhnout pomocí pružného povrchu s malou maximální frakcí kameniva. [19]

3.2.2 Air pumping – sání vzduchu

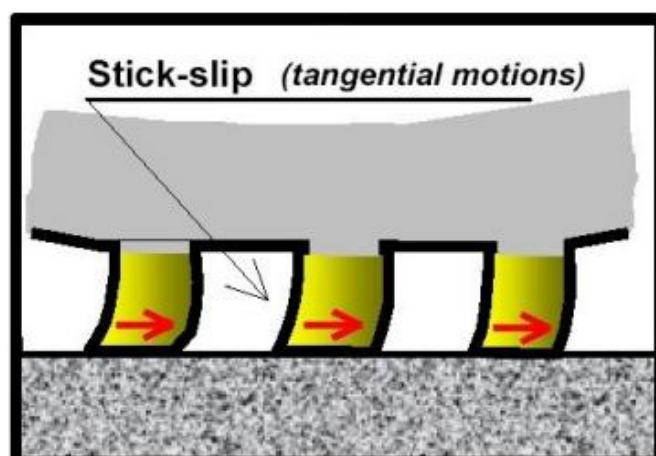
Tento jev se skládá ze dvou fází, první fázi nazýváme „pumped out“ neboli vytlačování vzduchu a druhou „sucked in“ přeloženou jako nasávání vzduchu. Na kontaktní ploše jsou drážky dezénového bloku postupně stlačovány a deformovány, postupným otáčením pneumatiky dochází k vytlačování vzduchu („pumped out“). Zároveň dochází k uvolnění napětí na zadní straně kontaktní plochy a do drážek je nasáván vzduch („sucked in“), (Obr. 3.5). Po opuštění kontaktní plochy se běhoun s dezénem a vlastně i celá pneumatika prudce vrací do původní velikosti (poloměru). Rychlý pohyb bloků dezénu běhounu tzv. „snap out“ dále způsobuje radiální a tangenciální vibrace pneumatiky. Obě tyto fáze sání vzduchu („pumped out“ a „sucked in“) jsou zdrojem hluku o vysokých frekvencích v rozsahu 1000 až 2000 Hz na styku pneumatika/vozovka a lze je přirovnat k tleskání rukou. Způsobem jakým lze tento hluk redukovat je použití krytu s otevřenou texturou. [19]



Obr. 3.5 : Sání vzduchu na jeho vstupu a výstupu z kontaktní plochy [19]

3.2.3 Tření mezi pneumatikou a povrchem (Stick - slip)

Na stykové ploše dvou materiálů dochází k interakci, kde průvodním jevem toho působení je tření. Z toho vyplývá, že na rozhraní pneumatika/vozovka tomu není jinak. Jelikož je pneumatika zakřivená, snaží se vyrovnat vozovce a povrchová část pneumatiky se snaží přizpůsobit makrotextuře povrchu silnice. Tření, které vzniká na kontaktní ploše, se nazývá hysterezní tření. Při akceleraci nebo brzdění přenáší kontaktní plocha tahové síly z pneumatiky na vozovku.

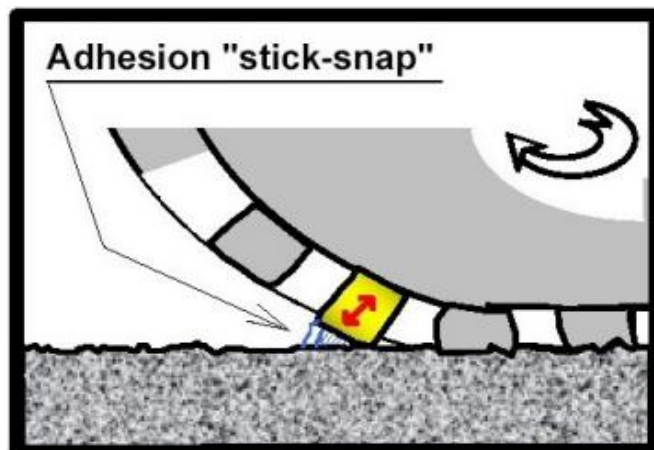


Obr. 3.6 : Tangenciální pohyb dezénových bloků po povrchu vozovky [19]

Kromě těchto sil vznikají vlivem deformace pneumatiky významné vodorovné síly. Pokud tyto síly překročí meze tření, dostávají se dezénové bloky během krátké doby do skluzu. Tato akce „uklouznutí se“ se může stát velice rychle a bude generovat hluk a vibrace. Tento jev a hluk při něm vznikající můžeme přirovnat k vrzání sálové obuvi na hrací ploše. Při redukci tohoto typu zdroje automobilového hluku je kladen důraz spíše na typ pneumatik a jejich výrobce. [19]

3.2.4 Adheze (Stick-snap)

Kontakt mezi dezénovými bloky běhounu a vozovkou způsobuje adhezi. Chování pneumatiky můžeme srovnat s chováním obyčejné přísavky. Pokud blok běhounu opustí kontaktní plochy, přilnavost drží blok běhounu, jak je znázorněno na obrázku 3.7. Uvolnění dezénových bloků běhounu způsobuje zvukovou energii a vibrace kostry pneumatiky. [19]



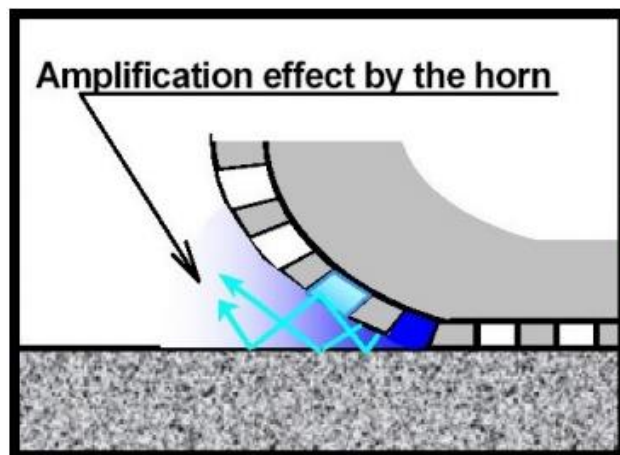
Obr. 3.7 : Adheze mezi bloky dezénu a povrchem na konci kontaktní plochy [19]

3.3 Sekundární zdroje automobilového hluku (zesilující hluk)

Bloky běhounu jsou poměrně malé a nevyzařují zvukovou energii příliš efektivně, nemají vhodný tvar a ani velikost. Stejně tak i sání vzduchu není významný zdroj zvukové energie. K jejich zesílení přispívají mechanismy zesilování zvuku (sekundární zdroje hluku). Jinak řečeno, hladin hluku vznikající od primárních zdrojů je zesílena pomocí systému zdrojů sekundárních. [19]

3.3.1 Zesílení účinků pomocí tzv. „horn effectu“ (efektu trubky)

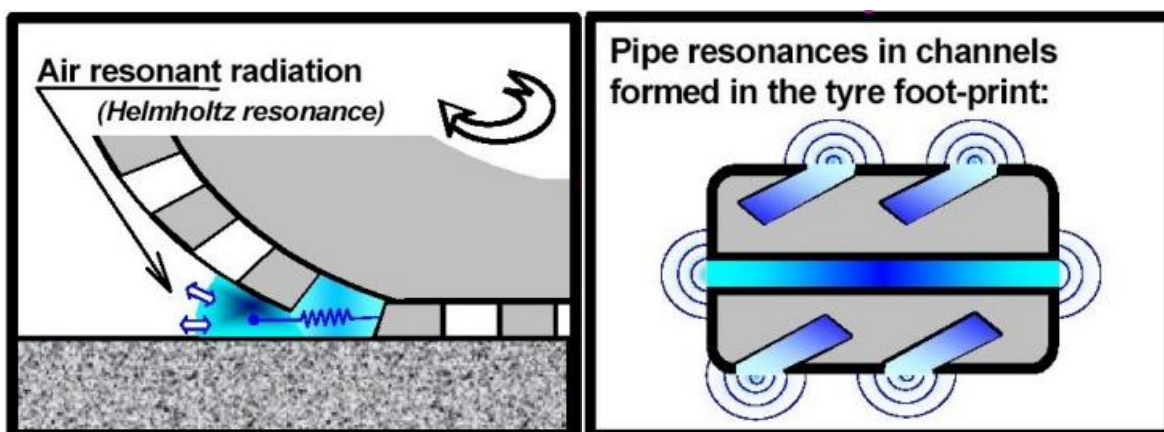
Geometrii pneumatiky nad vozovkou můžeme označit za přírodní trubku popřípadě klakson (Obr. 3.8), i když svým tvarem se těmito hudebními nástroji neblíží. Zvuk produkovaný primárními zdroji hluku v blízkosti hrdla trubky, je díky trubkovitému efektu značně zesílen. [19]



Obr. 3.8 : Tzv. efekt trubky vytvořený pomocí pneumatiky a vozovky [19]

3.3.2 Pišťaly a Helmholtzovy rezonátory

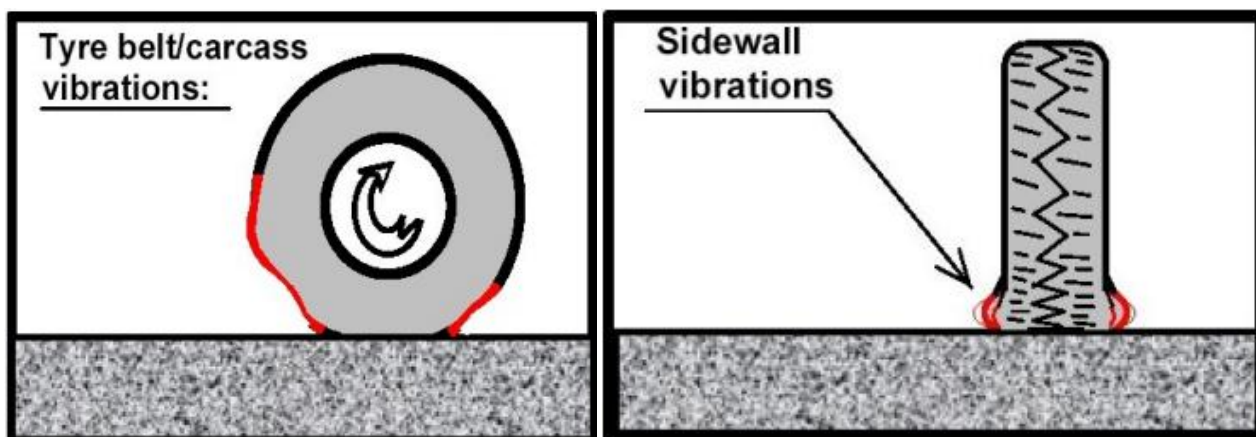
Boční drážky dezénu pneumatiky v kontaktní zóně se díky své tvarové charakteristice chovají jako akustické systémy, které navyšují vyzařování zvuku. Přirovnání se nabízí k systému rezonance varhanních píšťal a Helmholtzových rezonátorů (Obr. 3.9), které produkují zvuk jako při pískání přes hrdlo lahve. [2][19]



Obr. 3.9 : Zesílení hluku způsobené rezonancí vzduchu a kanálky ve vzorku pneumatiky [19]

3.3.3 Vibrace kostry pneumatiky

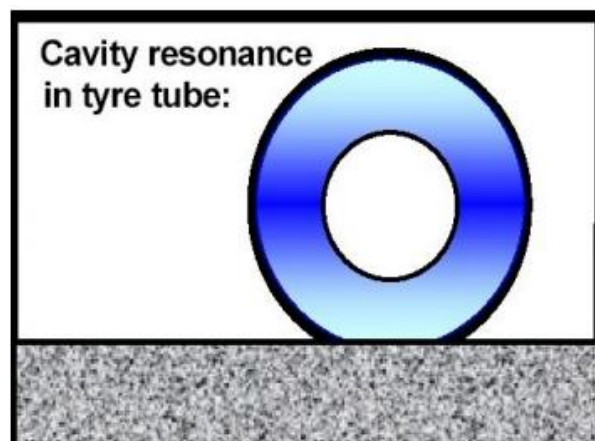
Vibrační energie vytvořená na rozhraní pneumatika/vozovka je zvyšována odezvou pneumatiky kostry. Vzniklé vibrační vlny se šíří běhounem pneumatiky, který je základním konstrukčním prvkem pneumatiky nacházející se v těsné blízkosti dezénu. Tyto vlny vytvářejí zvuk, který je vyzařován z kostry pneumatiky. Kromě toho, boční strany kostry pneumatiky v blízkosti kontaktní plochy vibrují a vyzařují hluk, jak je znázorněné na Obr. 3.10. [19]



Obr. 3.10 : Vibrace kostry pneumatiky kolem pásu běhounu a na boční stěně kontaktní plochy [19]

3.3.4 Vnitřní akustická rezonance

Vzduch uvnitř pneumatiky, který se používá pro nafoukání pneumatiky, je vybuzen buzením pneumatiky. V určitých frekvencích v souvislosti s vlastní frekvencí prstencovitého prostoru uvnitř pneumatiky začne vzduch rezonovat. Odezva vzduchu uvnitř pneumatiky je postačující, aby tyto rezonance byly slyšitelné. [2][19][29]



Obr. 3.11 : Akustická rezonance vzduchu uvnitř pneumatiky [19]

3.4 Zdroje hluku v závislosti na frekvenci

Jak bylo objasněno výše, při pohybu pneumatiky po vozovce mají z pohledu hluku význam samostatné dezénové bloky pneumatiky. Zdali se na tuto problematiku podíváme z pohledu frekvenčního spektra (pásma), tak jsme schopni rozlišovat zdroje hluku v oblasti nízkých a vysokých frekvencí.

V oblasti nízkých frekvencí (500 – 1 000 Hz) se výrazněji projevuje vibrace pneumatik. Při pohybu kola vpřed pneumatika naráží na výstupky povrchu vozovky, boky pneumatiky se rozvibrují a stávají se zdrojem hluku. Snížení hladiny hluku lze dosáhnout pomocí pružného povrchu s malou maximální frakcí kameniva.

V oblasti vysokých frekvencí (1 000 – 2 000 Hz) je dominantním zdrojem hluku sání vzduchu („air pumping“), které se skládá ze dvou částí. V první řadě dochází při pohybu pneumatik vpřed k otáčení náprav a tím tedy ke stlačování vzduchu na přední hraně kontaktní plochy, následuje nasávání vzduchu na zadní straně kontaktní plochy. Způsobem jakým lze tento hluk redukovat je použití krytu s otevřenou texturou. [2]

3.5 Shrnutí

Problém hluku na rozhraní pneumatika/vozovka je rozčleněn do několika sfér. Všechny čtyři primární zdroje hluku byly shledány jako rozhodující pro určité kombinace vozovky s pneumatikami. Tudiž každý zdroj může dominovat při tvorbě zvukové energie při rozdílných podmínkách, proto je složité rozvíjet strategie, které budou schopné eliminovat zdroje hluku pro všechny případy, jako je například rychlost vozidla či stav vozovky. Navíc, pokud si jsou zdrojové mechanismy podobné, co se týče jejich síly, strategie potlačit jeden mechanismus nebude mít tak

velký efekt na celkový hluk, protože ostatní zdroje se stanou dominantními. Dále i zesílení zdrojů hluku (sekundární zdroje) komplikují strategie pro dosažení redukce nežádoucího hluku. Příspěvky od sekundárních zdrojů jdou často obtížně rozlišit jeden od druhého, nebo od zdroje záření energie. Tudiž není vždy jasné, který z mechanismů je rozhodující pro určité povrchy a podmínky. Mělo by být také zdůrazněno, že mechanismy pro generování či zesílení hluku z vozovky a pneumatiky jsou přímo zahrnuty v charakteristikách rozhraní pneumatika/vozovka, a mělo by se brát ohled především na požadavky bezpečnosti, trvanlivosti a ceny. Hluk z rozhraní pneumatika/vozovka je náročným problémem a metody pro jeho eliminaci nejsou prozatím přímočaré a jednoznačné. [29]

Co tedy valivý hluk ovlivňuje:

- kvalita, dezén a tlak pneumatiky,
- rychlost vozidla,
- mokrá nebo suchá vozovka,
- textura povrchu vozovky,
 - mikrotextura $\lambda = 0-0,5$ mm; určená drsností povrchu
 - makrotextura $\lambda = 0,5-50$ mm; určená křivkou zrnitosti a největším zrnem ve směsi
 - megatextura $\lambda = 50-500$ mm; určená technologickým provedením obrusné vrstvy
- mezerovitost obrusné konstrukční vrstvy;
- vlastní návrh a složení směsi;
- velikost maximálního zrna ve směsi. [13]

4 MOŽNÁ OPATŘENÍ VEDOUcí KE SNÍŽENí DOPRAVNíHO HLUKU

Vhodnými urbanisticko – architektonickými, urbanisticko – dopravními, dopravně – organizačními a stavebně technickými opatřeními lze docílit omezení automobilového hluku. Snížení hluku přímo u zdroje by mělo být primárním krokem. V případech, kdy to nestačí, lze přistoupit k sekundárním krokům pasivní ochrany.

Je také vhodné úvodem zdůraznit, že řadu let se ochrana proti hluku zaměřovala, a v ČR do značné míry ještě stále zaměřuje, především na zavádění opatření, která snižují hlukovou imisi – nejčastěji ochranu okolního prostředí budováním protihlukových clon a valů. Tato druhotná opatření jsou nicméně účinná jen v bezprostřední blízkosti pozemní komunikace a v mnoha ohledech vedou k proměně místního krajinného rázu a bezprostředního prostředí, ve kterém člověk žije, včetně estetiky a v některých případech i psychiky člověka. Další formou snižování hlukové imise je používání protihlukových oken, v tomto případě hovoříme o „pasivní ochraně“ proti hluku, opatření

jsou prováděna přímo v místě příjmu zvuku. Takové řešení kromě vyšší ceny na pořízení je funkční jen v případě, kdy okna zůstávají zavřená a tudíž lze hovořit jen o částečném řešení problému. V posledních letech je snahou ve zvýšené míře omezit hluk přímo v místě jeho vzniku – „aktivní ochrana.“ Z tohoto důvodu bylo důležité identifikovat klíčové zdroje hluku při jízdě vozidla po pozemní komunikaci, aby bylo následně možné zavést vhodné úpravy, které by vedly ke snížení hluku. V této diplomové práci mě nejvíce zajímá hluk vznikající na styku pneumatika/vozovka, který je díky nezbytné textuře vozovky zesilován. A právě zde se nabízí možnost, jak uplatnit výše uvedenou „aktivní ochranu“, redukci hluku přímo u zdroje jeho vzniku. Fenomémem dnešní doby se staly nízkohlučné kryty. Spousta odborníků je vůči nim hodně skeptická. Nejedná se o zázračné vozovky, ale jsou schopny svou strukturou redukovat hladinu hluku v bezprostřední blízkosti jeho vzniku. Vozovkových krytů existuje celá řada. Za primární rozdělení můžeme považovat rozdělení na tuhé a netuhé vozovky. Za tuhé považujeme cementobetonové vozovky a vozovky z betonových dílců. Za netuhé pak jednotlivé typy asfaltových vozovek a kryty dlážděné. Z pohledu snižování úrovně dopravního hluku jsou zajímavé ty, které jsou schopny svou charakteristickou texturou a strukturou redukovat emise hluku a pohlcovat zvukové vlny šířící se od zdroje (v tomto případě pneumatik jednotlivých vozidel). Dopravní hluk tedy závisí na typu krytu, stáří krytu, textuře vozovky, protismykových vlastnostech, lokace vozovky (ve stoupání, klesání) a vedení trasy vozovky (extravilán, intravilán). Snižování hladiny hluku není samostatnou záležitostí. Při snaze o redukci hluku různými úpravami struktury vozovky je vždy nutné brát v úvahu i protismykové vlastnosti vozovky. Jednotlivé úpravy, které zlepšují protismykové vlastnosti, mohou v jistých případech zvyšovat emisi hluku. Jedná se zejména o striáž cementobetonových vozovek. Tyto negativní účinky mají i další stavební prvky, jako jsou kanalizační šachty umístěné ve stopě jízdního pruhu. Při pojezdu vozidel dochází k opakovanému a pravidelnému nárazu pneumatiky na poklop a tím k produkci dalšího hluku. Neméně důležitým faktorem je stáří vozovek. Poškozování a porušování obrusné vrstvy vytváří nehomogenní povrch a dochází ke vzniku nerovností. Mezi přední zástupce nízkohlučných vozovek patří asfaltové koberce BBTM CRmB s mezerovitostí 7-10%, 11-15% a zejména koberce drenážní značené PA s mezerovitostí větší než 15%. Cementobetonový kryt je svou strukturou poněkud v nevýhodě, ale i tak vykazuje pozitivní výsledky v porovnání se stejně starým asfaltovým kobercem mastixovým. Protože jde hluk ruku v ruce i s protismykovými vlastnostmi, je nutné veškeré úpravy povrchu posuzovat z obou hledisek. Mezi nejčastější úpravy patří striáž, vlečená juta, úprava negativní texturou s příčným drážkováním a vymývaný beton.

Můžeme napovědět, že dnes již umíme vyrobit směs, která snižuje hluk, má vyšší odolnost a zároveň vykazuje velmi dobré protismykové vlastnosti. [2][3]

4.1 Urbanisticko – architektonická protihlukové opatření

Toto opatření se týká komplexního řešení obytných souborů z hlediska funkčního uspořádání. Jako doporučení je zmíněno využívat blokovou zástavu. Dále můžeme mluvit o vhodné dislokaci objektů podle jejich účelu, blíže ke komunikaci budeme umisťovat objekty, které nevyžadují protihlukovou ochranu. Zvolení vhodného dispozičního řešení obytných prostor, kde obývací místnost a ložnici situujeme na odvrácenou stranu od pozemní komunikace, může být jedno z řešení. Také výškovým řešením je možné docílit snížení hladiny hluku. Nebo se snažíme využívat zvukového stínu již zrealizovaných budov. Architektonické řešení budovy, jako je její tvar nebo tvar průčelí může mít vliv na hladinu šířícího se hluku. [25]

4.2 Urbanisticko – dopravní protihlukové opatření

Jedná se o snahu situovat zdroje hluku, v našem případě pozemní komunikace a na nich provozovanou silniční dopravu, do co největší vzdálenosti od center měst a obcí. Dále také regulovat a efektivně využívat dopravu jako takovou. Možnosti tohoto typu opatření můžou být:

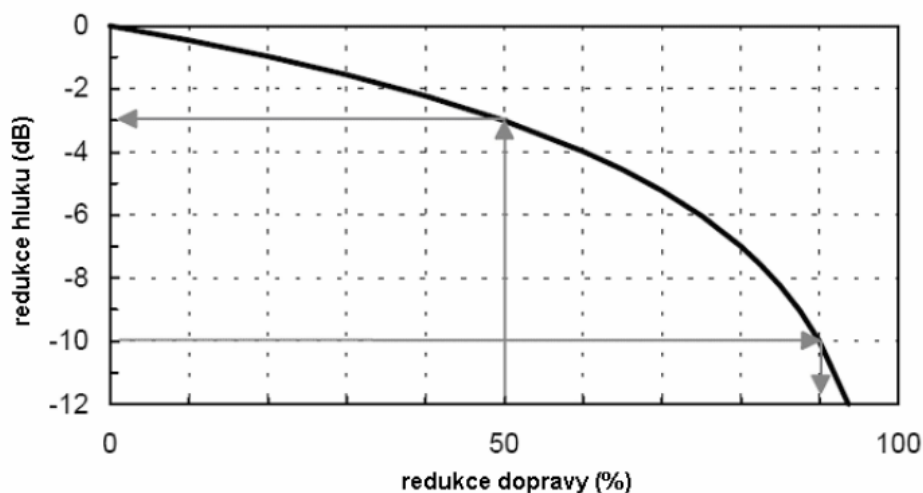
- Optimalizovat přepravní nároky a racionalizovat přepravní vztahy.
- Z centra a obytných zón by měla být vyloučena tranzitní doprava.
- Snížení počtu všech automobilů v městských centrech zpoplatněním jejich vjezdu
- Rychlostní komunikace vést mimo obytné zóny a areály s vyššími nároky na hlukovou ochranu.
- V blízkosti obytných souborů vyloučit těžkou nákladní dopravu.
- Jednotlivé druhy dopravy soustředit do hlavních tras s možností vytvoření protihlukových opatření.
- Trasy komunikací vést v dostatečné vzdálenosti od obytných budov.
- Vytvořit podmínky pro preferenci hromadné dopravy.
- Dopravní plochy, jako parkoviště, apod. navrhovat v dostatečné vzdálenosti od obytných, zdravotních, školních a rekreačních zón.
- V centrech měst a sídlišť organizovat klidové zóny s vyloučením automobilové dopravy a s časově omezeným vjezdem vozidel pro zásobování. [25]

4.3 Dopravně – organizační protihlukové opatření

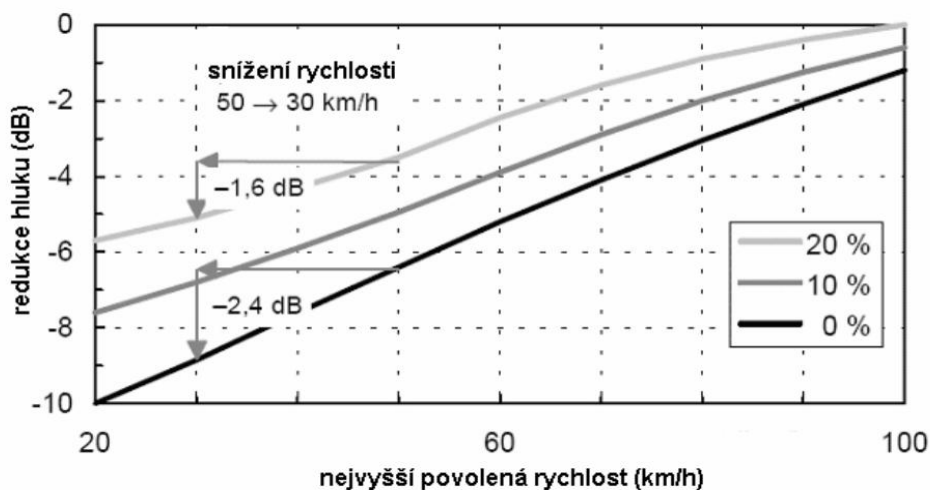
Dalším možným řešením snižování hluku z dopravy jsou dopravně - organizační protihluková opatření, u kterých jsou při redukci hluku nejdůležitějšími činiteli intenzita dopravy a rychlost dopravního proudu. Lepší organizací dopravy lze tedy dosáhnout menších hlukových emisí:

- snaha o odvedení tranzitní nákladní dopravy z center měst
- snížení počtu všech automobilů v městských centrech zpoplatněním jejich vjezdu
- realizace obchvatů
- upřednostnění MHD
- omezení rychlosti všech nebo jen nákladních vozidel

Z grafu lze vyčíst, že při snížení intenzity na 50%, lze docílit snížení hlučnosti asi o 3 dB. Respektive, snížení hladiny hluku o 3 dB odpovídá snížení intenzity dopravy o 50%. [29][25]



Obr. 4.1 : Závislost redukce hluku na redukcí dopravy [36]



Obr. 4.2 : Vliv rychlosti na hluku ze silniční dopravy v závislosti na podílu nákladních vozidel [36]

4.4 Stavebně – technická protihluková opatření

Z tohoto pohledu protihlukového opatření je k dispozici mnoho variant jak snižovat hluk. U nás se v poslední době velmi rozšířilo budování protihlukových stěn, ovšem je potřeba zvážit, zdali je výstavba těchto stěn vždy jediné přijatelné řešení, jak z pohledu efektivnosti, tak z pohledu ekonomického. Jak již bylo vysvětleno výše, existují dva typy ochrany k snížení silničního hluku - „aktivní ochrana“ a „pasivní ochrana“. A právě stavebně – technická opatření zahrnují obě možnosti redukování hladiny silničního hluku. Možná opatření:

- Vedení trasy v zářezu, viaduktu či estakádě, realizace zemních valů
- Provádění tunelů
- Zvýšení vzdálenosti trasy pozemní komunikace od chráněných objektů
- Výsadba zeleně
- Realizace nízkohlučných povrchů
- Stavba protihlukových stěn
- Protihluková okna

[29][25]

Opatření v silniční dopravě		Lokální účinek [dB]
Územní plánování a management	Umístění zdrojů hluku, prostorová separace silniční a železniční dopravy	0 -6
	Aplikace necitlivých provozů	0 -20
	Hlukové zónování	0 -20
Stínění hluku	Bariéry	0 -15
	Podúrovňové komunikace	0 - 5
	Budovy jako hlukové bariéry	0 - 20
	Kombinace budovy-bariéry	0 - 20
	Tunely	0 - 30
	Vegetace	0 - 1

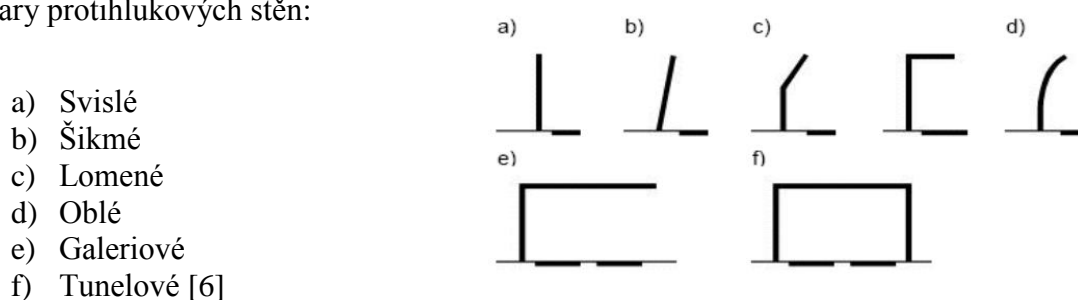
Tab. 3 : Hodnocení vybraných opatření [25]

Existující komunikace/budovy				
Vybraná protihluková opatření	Účinnost	Proveditelnost	Životnost	Náklady
Komunikace v zářezu
Komunikace na násypu
Tunely
Zastřešený zářez
Viadukty
Protihlukové bariéry
Izolace fasád
Řízení dopravy
Speciální trasy pro nákladní vozidla
Plynulý dopravní proud
Zvýšení využití veřejné dopravy
Tiší vozidla
Nízkohlučné povrchy vozovek
Tiší pneumatiky
Pozn. . špatné; .. přijatelné; ... dobré; velmi dobré				

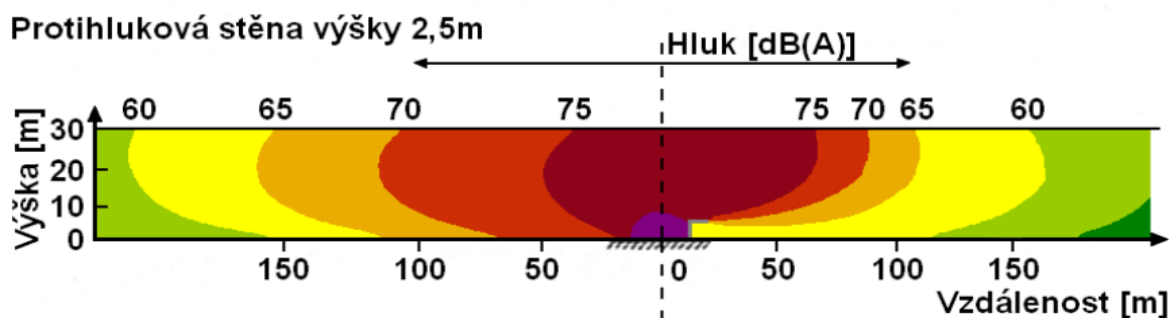
Tab. 4 : Porovnání vybraných opatření [25]

4.4.1 Protihlukové stěny (PHS)

Tvary protihlukových stěn:



Obr. 4.3 : Tvary protihlukových stěn [25]



Obr. 4.4 : Šíření hluku za protihlukovou stěnou v závislosti na výšce stěny [25]

4.4.1.1 Požadavky na akustické vlastnosti PHS

Protihlukové stěny musí zajistit vzduchovou neprůzvučnost, zvukovou pohltivost, musejí být pevné a stabilní, trvanlivé, musejí odpovídat hlediskům pasivní dopravní bezpečnosti a dobře esteticky působit. [6]

4.4.1.2 Vzduchová neprůzvučnost

Vzduchovou neprůzvučností rozumíme schopnost protihlukových stěn snížit hladinu akustického tlaku zvukových vln procházejících přes tyto stěny. Zkoušení těchto výrobků je popsáno v ČSN EN 1793-2:1997, kde je deklarovaná jednočíselná hodnota DLR [dB], podle které jsou protihlukové stěny rozčleněny do čtyř kategorií (B0 – B3) [6]

4.4.1.3 Zvuková pohltivost

Z hlediska zvukové pohltivosti se obecně protihlukové stěny člení na kategorie:

- odrazivé stěny, které sníží při odrazu hladinu hluku o méně než 4 dB;
- absorpční stěny, které sníží při odrazu hladinu hluku o 4 dB až 8 dB;
- vysoce absorpční stěny, které sníží při odrazu hladinu hluku o více než 8 dB. [6]

Určení zvukové pohltivosti protihlukových stěn je deklarováno dle ČSN EN 1793-1:1997. Pro hodnocení zvukové pohltivosti protihlukových stěn byla zavedena jednočíselná hodnota $DL\alpha$ [dB], podle které jsou protihlukové stěny rozčleněny do pěti kategorií (A0 – A4)

U pohltivých protihlukových stěn (jednoduchých – monolitických) tvoří vnější vrstvu materiál s vysokým činitelem zvukové pohltivosti. Hodnota zvukové pohltivosti u stavebních materiálů závisí především na jejich pórovitosti, protože v pórech materiálu dochází k pohlcování akustické energie, a to následujícími způsoby: [6]

- násobnými odrazy zvukového paprsku a pórech materiálu;
- třením vzduchu přenášejícího akustickou energii o stěny pórů;
- přeměnou akustické energie na expanzní práci periodicky stlačovaného vzduchu v pórech.

Při návrhu zvukopohltivého materiálu je tedy hlavní požadavek kladen na to, aby měl daný materiál pokud možno co největší možné množství pórů (podmínkou je otevřená pórovitost) a dále na to, aby distribuce pórů odpovídala požadavku na pohltivost materiálu v jistých frekvenčních oblastech. Dále obecně platí, že čím je větší aktivní povrch protihlukových stěn, tím je vyšší stupeň absorpce hluku, kterého lze dosáhnout různými kombinacemi tloušťky žeber, popř. osovými vzdálenostmi žeber z různých pohltivých materiálů. Obtížnější je zajistit zvukovou pohltivost stěny. V místech, kde jsou potřebné oboustranné protihlukové bariéry, je nezbytné, aby byly tyto stěny provedeny

jako vysoce absorpční, neboť jinak dochází k odrazu zvukových vln šikmo nahoru a tedy nad protihlukovou stěnu na protější straně silnice. [6]

4.4.1.4 Používané materiály protihlukových stěn

Z hlediska vhodných opatření pro Českou republiku v současnosti protihlukové stěny představují zřejmě nejčastější řešení při snižování (omezování) hluku z dopravy. Z hlediska tvaru bývá upřednostňován svislý tvar z betonových dílců, dále nachází uplatnění též dřevo nebo plast. V poslední době také v malé míře nalézá své uplatnění vedle speciálních polymerů například i odpadní pryž, sklo, lehké kovy nebo kombinace více materiálů či kompozitů. [6]

4.4.1.5 PHS dle materiálu

4.4.1.5.1 Železobetonové a dřevocementové protihlukové stěny

Liadur:

Výrobce: Lias Vintířov, lehký stavební materiál
k.s. Skanska a.s. Eurovia CS, a.s. SMP
Construction, a.s.

Materiál: nosná vrstva C 30/37 XF4, pohltivá
vrstva: mezerovitý Liaporbeton

Počet typů PHS v systému: 10

Mezní rozměry jedné desky (jednostranné): délka
max. 6 m, výška max. 2,5 m, tl. max. 130 mm

Zvuková pohltivost DLa: 5 až 11 dB

Neprůzvučnost DLR: 45 dB

Deklarovaná životnost: 50 let pro klasifikaci prostředí 4K3; 4Z7; 4B1; 4C2; 4M4 [6]

Prefa Akustik:

Výrobce: Prefa Brno a.s.

Materiál: nosná vrstva C 40/50 XF4, pohltivá
vrstva: dřevocementové tvarovky MFC Akustik

Počet typů PHS v systému: 1

Mezní rozměry jedné desky (jednostranné): délka
max. 6 m, výška max. 2,5 m, tl. 240 mm

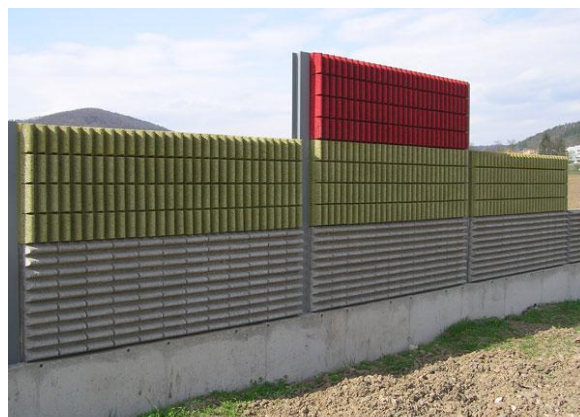
Zvuková pohltivost DLa: 8 dB

Neprůzvučnost DLR: 43 dB

Deklarovaná životnost: 35 let [6]



Obr. 4.5 : Protihluková stěna Liadur [6]



Obr. 4.6 : Protihluková stěna Prefa Akustik [6]

4.4.1.5.2 Hliníkové systémy protihlukových stěn

PHS pozink/hliník

Výrobce: ROMAn® s.r.o

Materiál: nosná modulární panely z hliníku nebo pozinku, vnitřní část vyplněna minerální vatou

Počet typů PHS v systému: 5

Mezní rozměry jedné desky (jednostranné): délka 4 m, šířka 0,5 m, tl. 113 mm

Zvuková pohltivost DLa: 18 dB

Neprůzvučnost DLR: 26 dB

Deklarovaná životnost: není definována [6]



Obr. 4.7 : PHS z hliníkových panelů [6]

4.4.1.5.3 Protihlukové stěny z plastů a recyklovaných plastů

HAMPPEP

Výrobce: MATEICIUC, a.s.

Materiál: pohltivá výplň - minerální vata tl. 30 mm.

Bočnice - extrudované lamely z tvrdého PVC

Počet typů PHS v systému: 2

Mezní rozměry desky: délka max. 6 m, výška do 6 m, tl. 130 mm

Zvuková pohltivost DLa: 6 až 8 dB

Neprůzvučnost DLR: 28 až 40 dB

Deklarovaná životnost: 35 let [6]



Obr. 4.8 : PHS z plastů [6]

4.4.1.5.4 Protihlukové stěny ze sklovláknobetonu

Dakobet alfa

Výrobce: DAKO Brno, spol. s r.o.

Materiál: sklovláknobeton DAKOBET MIX, minerální vata ORSIL, lícová strana pozinkovaná KARI síť

Počet typů PHS v systému: 2 + atypy

Mezní rozměry jedné desky (jednostranné): šířka 3940 mm výška 2220 mm tl. 120 mm

Zvuková pohltivost DLa: 10 až 11 dB

Neprůzvučnost DLR: 35 dB

Deklarovaná životnost: 35 let [6]

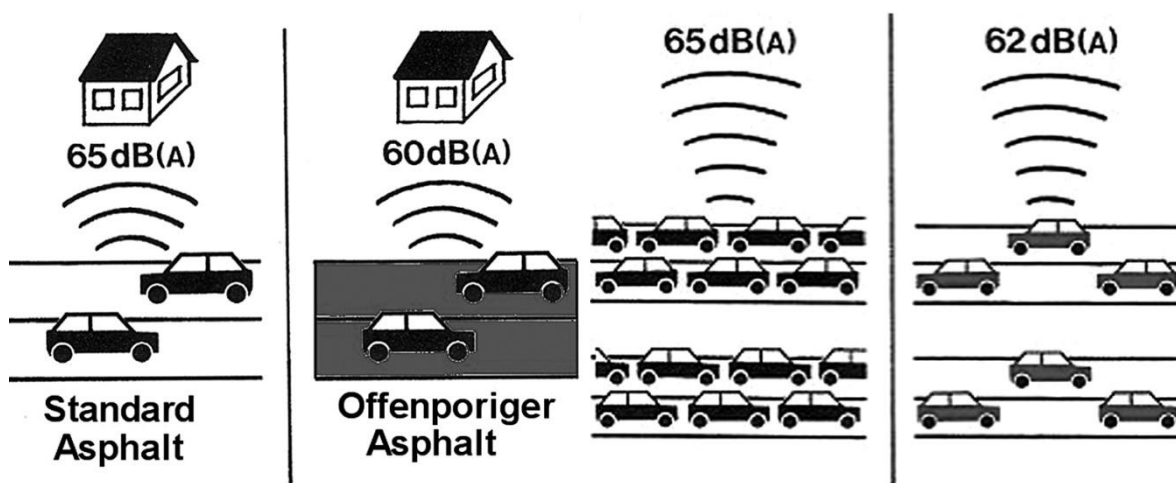


Obr. 4.9 : PHS ze sklovláknobetonu [6]

5 PROTIHLUKOVÁ ŘEŠENÍ OBRUSNÝCH VRSTEV

V současné době existuje několik technologií obrusných vrstev vozovky, které lze označit jako nízkohlučné nebo také protihlukové. Při návrhu je důležité rozlišovat, zdali pozemní komunikace bude procházet intravilánem nebo extravilánem. V extravilánu nemáme prakticky žádné omezení a lze aplikovat v zásadě všechny z dosud nám známých nízkohlučných úprav obrusných vrstev. U drenážních koberců počínaje, přes tenkovrstvé úpravy až po uzavřené obrusné vrstvy s malou mezerovitostí avšak optimalizovanou strukturou povrchu. Specifickým a v Evropě ve stádiu vývoje se nacházejícím povrchem s potenciálem snížení hladiny hluku až o 10 dB(A) při rychlostech 50 km/h jsou poroelastické povrchové úpravy s pryží. V případě místních komunikací je situace o poznání složitější. To je způsobeno především okrajovými podmínkami prostoru místní komunikace (možnosti pokládky, pravděpodobnost pozdějších výkopů nebo překopů v důsledku oprav či provádění nových inženýrských sítí) jakožto i odlišnou dopravní situací (řada míst, kde dochází ke změně směru jízdy, časté brzdné a akcelerační pohyby). V případě těchto komunikací lze proto uplatnit obrusné vrstvy s upravenou texturou, které jsou méně náchylné na působení mechanických účinků. Zpravidla lze využít upravené asfaltové koberce mastixové (obsahující modifikovaný asfalt) či některou z tenkovrstvých úprav. [3]

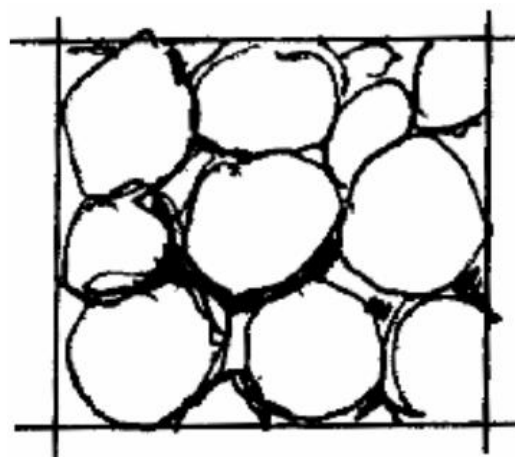
Všechny tyto úpravy lze považovat tradičně za nejznámější, s nimiž existují zkušenosti též v ČR. V případě drenážních koberců navíc lze sledovat v uplynulých deseti letech značný další vývoj a dnes můžeme hovořit již o třetí generaci těchto úprav. Některé z uplatnitelných technologií, včetně drenážních koberců, jsou uváděny dále.



Obr. 5.1 :Běžný povrch vs. Povrch protihlukový[3] Obr. 5.2 :Snížení o 3 dB odpovídá snížen intenzitě o 50%[3]

5.1 Porézní asfaltové vozovky (PA)

Porézní asfaltové kryty jsou konstruovány se snížením množství malého kameniva použitého ve směsi (přerušená křivka zrnitosti), tím pádem nemůže být vozovka kompaktní. Obrázek nám ukazuje póry ve směsi při použití velké frakce kameniva. Obecně lze říci, že porézní vrstvy redukují hluk na styku pneumatika/vozovka, který se pohybuje nad hranicí 1000 Hz. U většiny těchto směsí se mezerovitost pohybuje v rozmezí 16 - 25%. Pórovitost snižuje sílu sání vzduchu, kde póry potlačují kompresy vzduchu. Póry dále velmi příznivě ovlivňují zesilování hluku ze sekundárních zdrojů - Helmholtzovy rezonátory či trubkový efekt. Další výhodou porézních krytů je jejich absorpční vlastnost, hluk se od vozovky neodrazí, ale je jí částečně pohlcen. Tyto vlastnosti můžeme přirovnat k vlastnostem zvukových izolací používaných v pozemním stavitelství. Jelikož je hluk z rozhraní

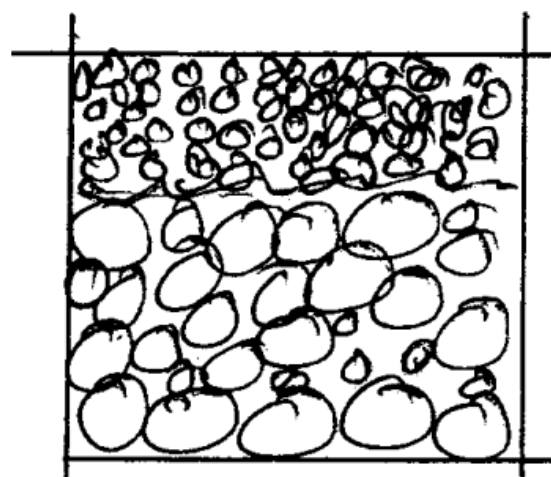


Obr. 5.3 : Typická struktura porézního asfaltového krytu [19]

pneumatika/vozovka generován velice blízko povrchu krytu, nemusí být pohlcování hluku vozovkou nejvýznamnějším činitelem při všeobecném snižování hladiny hluku. Nicméně pro nákladní vozidla a jiné zdroje hluku pod karosérií vozidla, například hluk od hnací jednotky, je schopnost absorpce hluku významná. Porézní vozovky také snižují množství odštěkující vody od vozovky, a to díky skvělým drenážním vlastnostem, mají tedy schopnost dobře odvádět srážkovou vodu z povrchu komunikace. Panují zde však obavy

ohledně dvou otázek spojených s porézními vozovkami. První je dlouhodobá ztráta redukce hluku v důsledku ucpání pórů pískem, šterkem a dalšími nečistotami z provozu na komunikaci. Druhým problémem jsou horší protismykové vlastnosti při namrzání vozovky. Proti problému zanášení krytu nečistotami se bojuje v Evropě výstavbou dvouvrstvého systému porézních krytů (Obr. 4.4).

Zde se ovšem doporučuje omezit použití těchto krytů pro silnice s vysokými návrhovými rychlostmi, neboť



Obr. 5.4 : Typická struktura dvouvrstvého krytu [19]

mají tendenci se samočistit stlačeným vzduchem od jedoucích pneumatik (Pumping effect) a může tak být znečišťováno okolí vozovky. Při návrhu dvouvrstvého krytu by měla vrchní vrstva sloužit jako síto a chránit spodní vrstvu proti zanesení velkými zrny písku či šterku. Spodní vrstva by se

měla navrhovat jako vysoce porézní a měla by být snadno čistitelná tlakovou vodou. Zimní údržba porézních asfaltů s sebou nese jisté problémy. Nejpoužívanější materiál údržby – sůl, propadává krytem do spodních vrstev a neplní tak svou funkci. Tento problém může být vyřešen použitím vlhčených solí či solných roztoků. Kvůli obavám z finančně nákladné údržby omezily některé země používání porézních asfaltů pouze na oblasti, kde nehrozí výrazné namrzání vozovky. Dalším negativem těchto krytů je jejich rozdílná technologie při pokládce a opravě oproti běžným asfaltovým povrchům. Mezi nejčastěji využívané porézní asfalty v České republice patří asfaltový koberec drenážní PA jednovrstvý či dvouvrstvý. [19][29]



Obr. 5.5 : Drenážní schopnosti porézních vozovek [19]

5.2 Tenké vrstvy s malou frakcí kameniva

Pro omezení negativ porézních asfaltových krytů při zimních teplotách, se v Evropě vyvíjí asfaltové povrchy vozovek s nižší pórovitostí (asi 9 %) s malým, vysoce kvalitním kamenivem. Kamenivo má obvykle největší velikosti 10 nebo 6 mm. Poréznosti je dosaženo použitím kameniva s určitou mezerovitostí s přerušenou čarou zrnitosti (určité velikostní částice z velké části, nebo zcela chybí). Materiál pak tvoří vhodnou směs, která se snadno a dobře vypořádává se srážkovou vodou. Pro maximální velikost frakce 6 mm se přidává kamenivo maximální velikosti 2-4 mm, pro vrstvy s kamenivem maximální frakce 10 mm pak částice velikosti 4-6 mm. Celková tloušťka vrstvy se pak v závislosti na maximální frakci kameniva (6 nebo 10) pohybuje v rozmezí 15 až 25 mm, což je v porovnání s klasickými asfaltovými povrchy výrazně méně (např. SMA11 - 40mm). Malá velikost kameniva má tendenci k vytvoření povrchu s velmi malou (hladkou) texturou, menší než 10 mm. Ovšem pomocí kvalitního kameniva (odolného proti ohlazení) jsou zajištěny požadované protismykové vlastnosti. Pórovitost, která je relativně nízká, je i přesto stále efektivní pro redukci vysokofrekvenčního hluku z dopravy. Typické hodnoty redukce hluku asfaltových koberců pro tenké vrstvy se pohybují kolem 2-3 dB v porovnání s klasickými asfaltovými koberci (ACO). První testy ovšem neprokázaly žádné výrazné redukce hluku. Tento typ vozovky je totiž svým složením

velmi podobný asfaltovým kobercům mastixovým s malou frakcí kameniva – SMA 8 (protihlukový), které jsou běžně využívány v USA. [19]

5.3 Texturování pro snížení hluku

Textura je důležitým prvkem u všech typů krytů ke zvýšení tření mokrých vozovek. Textura s vlnovou délkou kratší než 10 mm má pozitivní přínos v oblasti redukce hluku. Ovšem při delších vlnových délkách, 10 mm a více, náraz dežénového bloku vede ke zvýšení hluku. Proto je třeba najít vhodný kompromis. Lokální textury hloubky přibližně 3 mm (což znamená průměrnou hloubku textury mírně větší než 1 mm) se ukazují jako dostatečné k dosažení alespoň mírné redukce hluku. Pro asfaltové vozovky je textura vedlejším produktem materiálu, který je použit. Návrh textury je umožněn správnou volbou velikosti a tvaru použité frakce kameniva a celkovým uspořádáním kameniva ve vozovce. [19]

5.4 Poro-elastické povrchy

Naše současné znalosti mechanismů generování a zesilování hluku vedou k vývoji vozovek, které se chovají elasticky a mají díky své struktuře schopnost částečně pohlcovat hluk. Elasticita prvku pomáhá redukovat hluk vznikající z mechanických zdrojů. Pórovitost krytů vozovek napomáhá k snižování hluku od aerodynamických zdrojů (sání vzduchu), zabraňuje odražení vzduchu a redukuje působení zesilujících zdrojů hluku (sekundárních). V dnešní době již existují kryty vozovek těchto vlastností. Primárně byly vyvinuty pro účely zvýšení trvanlivosti a možnosti využití odpadních materiálů. Nicméně některé z těchto směsí dosahují významných výsledků i při snižování hladiny hluku. [19]

5.5 Asfaltové směsi s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem (CRmB)

5.5.1 Úvod

V asfaltových vrstvách netuhých vozovek se běžně používá silniční nebo polymerem modifikovaný asfalt jako pojivo pro stmelení směsi kameniva. V poslední době se v ČR začíná uplatňovat alternativní pojivo, které obsahuje pryžové částice. Pojivo se nazývá asfalt modifikovaný pryžovým granulátem, označuje se CRmB (z anglického Crumb Rubber modified Bitumen) a lidově se mu říká gumoasfalt. Své kořeny má ve Spojených státech amerických (konkrétně ve státě Arizona), kde se používá v dopravním stavitelství již od 60. let minulého století. V USA se tato technologie označuje jako Asphalt Rubber. Zvláště ve čtyřech státech (Arizona, Kalifornie, Florida a Texas) je CRmB používán ve velkém měřítku, jelikož se na vybudovaných vozovkách ověřil nejen jeho vliv

na vlastnosti použitých obrusných vrstev jako je např. redukce rozstříkávání a víření vodních kapek za vozidly při dešti, protismykové vlastnosti, dále snížení hlučnosti dopravy, ale již se také technologie osvědčuje z hlediska životnosti.

CRmB je asfaltové pojivo složené ze silničního asfaltu gradace 50/70 nebo 70/100, pryžového granulátu (vzniká zpracováním ojetých automobilových pneumatik) a eventuálně dalších přísad a vyrábí se ve speciálním míchacím zařízení. Toto pojivo je ve srovnání s ostatními pružnější, má delší životnost a vyšší odolnost vůči nízkým i vysokým teplotám. To umožňuje vyrábět jemnozrnné směsi, vhodné pro tenkovrstvé úpravy, a dále mezerovité směsi, které se používají z důvodu jejich protihlukových vlastností.

V České republice došlo k prvním realizacím směsí s pryžovým granulátem (asfaltový beton a litý asfalt), zálivek a pružných membrán mezi vrstvy vozovek v letech 1985 až 1987. Vývoj asfaltových směsí s přídavkem pryžového granulátu pokračoval technologií nazvanou Rubit® (tzv. mokrá proces), ale toto pojivo se kvůli vysoké náročnosti na dodržování technologie neosvědčilo.

Od roku 2006 se začíná prosazovat nová technologie výroby gumoasfaltu ve speciálním míchacím zařízení (tzv. mokrá proces), na jejímž vývoji se podílí Fakulta stavební Vysokého učení technického v Brně. Existují dva způsoby výroby. Prvním z nich je přidání granulátu přímo do míchačky obalovny (dry-process) a druhým je vmíchání granulátu do asfaltového pojiva, čímž se získá pojivo (gumoasfalt) pro následné použití na obalovnách (wet-process). První způsob začal být uplatňován v ČR v letech 1998 až 2002, kdy se drcená guma zrnitosti 0/4 mm přidávala do míchačky obalovny spolu s kamenivem. Za výhodnější z hlediska spolehlivosti požadovaných účinků a provozních vlastností je považován druhý způsob výroby směsí. Při této metodě se gumoasfaltové pojivo vyrábí ve speciálních míchacích zařízeních (obr. 1), ve kterých dochází k přidávání gumového granulátu do asfaltu, k reakci mezi asfaltem a gumou a následně přísunu pojiva k dávkovacímu zařízení obalovny s přímým dákováním do míchačky. [5][9][27][28]



Obr. 5.6 : Míchací souprava ECOPATH pro přípravu gumoasfaltového pojiva [5]

Pomocí výše uvedeného postupu můžeme vytvořit směsi následujících typů:

- gumoasfaltový beton s přerušenou zrnitostí, s vyšší mezerovitostí směsi kameniva, s mezerovitostí směsi 3 % až 6 % pro tloušťku vrstvy 30 až 50 mm;
- gumoasfaltový koberec tenký, s otevřenou zrnitostí o tloušťce 20 mm až 30 mm s vyšší mezerovitostí směsi kameniva a směsi;
- gumoasfaltový koberec drenážní, o tloušťce 20 mm až 30 mm s mezerovitostí vrstvy 14 % až 18 % pro dosažení vnitřního odvodňování vrstvy;
- gumoasfaltový koberec drenážní velmi tenký na spojovací postřík z gumoasfaltu v tloušťce 10 mm až 20 mm, v tomto případě mezerovitá směs tvoří makrotexturu povrchu.

Výzkumem bylo zjištěno, že gumoasfaltové vrstvy mohou mít podstatně sníženou tloušťku oproti běžným vrstvám z asfaltového betonu při zachování stejné životnosti. Důvodem je vyšší odolnost proti únavě, stárnutí, trvalým deformacím a trhlinám. Z hlediska dlouhodobého (za doposud používané období 30 let) jsou náklady na údržbu a opravy nižší a je rovněž možné opětovné využití gumoasfaltových vrstev (recyklace). Mezerovité typy směsí oproti obvyklým obrusným vrstvám znatelně snižují hladinu akustického tlaku hluku a zabraňují vytváření vodní clony za automobily při dešti. K nevýhodám patří vyšší pracnost a energetická a organizační náročnost. Pro zabudování gumového granulátu do asfaltu je nezbytné použít přídavné míchací zařízení. Gumoasfalt a gumoasfaltové směsi jsou více „lepivé“, o něco obtížněji zpracovatelné. Vlastnosti gumoasfaltu převyšují účinek běžných polymerem modifikovaných asfaltů (PmB), ovšem za cenu vyššího obsahu pojiva ve směsi, tj. tuna asfaltové směsi je dražší, ale 1 m² vrstvy díky nižší tloušťce je levnější. Jako gumoasfalty lze použít všechny typy asfaltových směsí – PA, ACL, SMA, BBTM, SAL. [5][9][27][28]

5.5.1.1 Typy gumoasfaltových směsí

- **BBTM 5 A - Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy**

Vlastnosti: Směs BBTM 5 A se vyznačuje snížením hluku oproti SMA 11, PmB o 2 dB až 3 dB, odolností vůči trvalým deformacím a vzniku trhlin a vysokou trvanlivostí.

Složení směsi: Menší velikost maximálního zrna kameniva, složení z kameniva 0/4 mm a 2/4 mm. Mezerovitost 7 % až 10 %.

Typ použití: V místech požadovaného snížení hluku způsobeného silničním provozem.

Obrusná vrstva v tloušťce 20 mm až 30 mm.

Přínos: Tenké obrusné vrstvy se snížením hluku, dobré protismykové vlastnosti, jednotný a trvanlivý povrch. [8]



Obr. 5.7 : BBTM 5 A [8]

- **BBTM 5 B - Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy**

Vlastnosti: Směs BBTM 5 B se vyznačuje snížením hluku oproti SMA 11, PmB o 3 dB až 4 dB, je odolná vůči trvalým deformacím a vzniku trhlin.

Složení směsi: Menší velikost maximálního zrna kameniva, složení z kameniva 0/4 mm a 2/4 mm. Mezerovitost 11 % až 15 %.

Typ použití: V místech požadovaného snížení hluku způsobeného silničním provozem.

Obrusná vrstva v tloušťce 20 až 35 mm.

Přínos: Tenké obrusné vrstvy se snížením hluku, dobré protismykové vlastnosti, jednotný povrch s makrotexturou. [8]



Obr. 5.8 : BBTM 5 B [8]

- **BBTM 8 A - Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy**

Vlastnosti: Směs BBTM 8 A se vyznačuje snížením hluku oproti SMA 11, PmB o 1 dB až 2 dB, je odolná vůči trvalým deformacím a vzniku trhlin.

Složení směsi: Směs s vyšším dávkováním pojiva a nižším obsahem drobného kameniva se zrnitostí do 8 mm. Mezerovitost 7 - 10%

Typ použití: V místech požadovaného snížení hluku způsobeného silničním provozem.
Obrusná vrstva v tloušťce 20 mm až 35 mm.

Přínos: Zvýšení trvanlivosti nižším stárnutím pojiva, vysoká odolnost vůči trvalým deformacím a trhlinám, dobré protismykové vlastnosti. [8]



Obr. 5.9 : BBTM 8 A [8]

- **BBTM 8 B - Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy**

Vlastnosti: Směs BBTM 8 B se vyznačuje snížením hluku oproti SMA 11, PmB o 2 dB až 3 dB, je odolná vůči trvalým deformacím a vzniku trhlin.

Složení směsi: Směs s vyšším dávkováním pojiva a nižším obsahem drobného kameniva se zrnitostí do 8 mm. Mezerovitost 11-15 %.

Typ použití: V místech požadovaného snížení hluku způsobeného silničním provozem.
Obrusná vrstva v tloušťce 20 mm až 35 mm.

Přínos: Obrusné vrstvy se snížením hluku, dobré protismykové vlastnosti, jednotný povrch s makrotexturou. [8]



Obr. 5.10 : BBTM 8 B [8]

- **SMA 8 S - Asfaltový koberec mastixový**

Vlastnosti: Směs SMA 8 S se vyznačuje vysokou odolností vůči trvalým deformacím, vzniku trhlin a trvanlivostí, což je dáno kvalitními únavovými a nízkoteplotními charakteristikami.

Složení směsi: Vhodná makrotextura směsi při vyšším



Obr. 5.11 : SMA 8 S [8]

dávkování pojiva. Mezerovitost 4 % až 7 %.

Typ použití: Obrusné vrstvy pro vozovky s vysokým dopravním zatížením.

Přínos: Zvýšení trvanlivosti nižším stárnutím pojiva, vysoká odolnost vůči trvalým deformacím a trhlinám. [8]

- **PA 8 - Asfaltový koberec drenážní**

Vlastnosti: Směs PA 8 se vyznačuje nižšími emisemi hluku oproti SMA 11, PmB o 3 dB až 5 dB, zvukovou pohltivostí povrchu, propustností vrstvy s odolností vůči trvalým deformacím.



Obr. 5.12 : PA 8 [8]

Složení směsi: Mezerovitá kostra směsi, mezerovitost 14 % až 22 %.

Typ použití: V místech požadovaného snížení hluku způsobeného silničním provozem. Obrusná vrstva v tloušťce 25 mm až 35 mm.

Přínos: Snížení hluku, odvod srážkové vody vrstvou, výborné protismykové vlastnosti, zvýšení bezpečnosti silničního provozu - zejména za deště. [8]

- **ACL 16 - Asfaltový beton pro ložní vrstvy**

Vlastnosti: Směs ACL 16 se vyznačuje vysokou odolností vůči trvalým deformacím, odolností proti vzniku trhlin, což je dáno dobrými únavovými a nízkoteplotními charakteristikami.



Obr. 5.13 : ACL 16 [8]

Složení směsi: Směs s vyšším dávkováním pojiva a nižším obsahem drobného kameniva. Mezerovitost 4 % až 7 %.

Typ použití: Ložní nebo podkladní vrstvy vysoce namáhaných vozovek s nebezpečím vzniku a prokopírování trhlin. Vrstva v tloušťce 50 mm až 70 mm.

Přínos: Vysoká odolnost vůči trvalým deformacím, odolnost vůči trhlinám. [8]

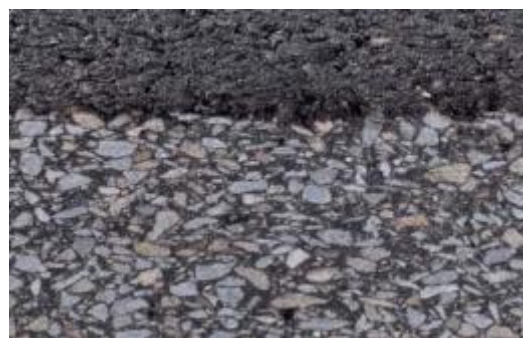
- **SAL - Asfaltová vrstva se zvýšenou odolností proti šíření trhlin (SAL)**

Vlastnosti: Směs SAL se vyznačuje vysokou odolností vůči prokopírování a šíření trhlin, což je dáno vynikajícími únavovými a nízkoteplotními charakteristikami.

Složení směsi: Složení směsi kameniva odpovídá asfaltovým betonům pro zrnitosti 5 mm, 8 mm a 11 mm s vysokým obsahem pojiva. Mezerovitost 2 % až 3 %.

Typ použití: Vrstva se umísťuje pod ložní, podkladní nebo obrusnou vrstvu, slouží pro omezení šíření trhlin včetně při překrytí vozovek s cementobetonovým krytem. Používá se v tloušťce 15 mm až 60 mm podle zrnitosti kameniva.

Přínos: Omezení šíření trhlin do výše položených vrstev, vyrovnávací vrstva. [8]



Obr. 5.14 : SAL [8]

5.6 Nátěrové technologie

Nátěrové technologie prováděné zejména na betonové vozovky byly původně, stejně jako drenážní koberec, vyvinuty pro použití na vzletových a přistávacích drahách letišť. Zatímco drenážní koberec byl vyvinut jako úprava snižující riziko aquaplaningu, nátěrové technologie byly rozvíjeny jako technické opatření zlepšující protismykové vlastnosti povrchu vozovky. Nátěry jsou tenké vrstvy asfaltové emulze, speciálního modifikovaného asfaltu nebo epoxidové pryskyřice s následným podrceným kamenivem vhodné frakce. Předností této úpravy je provedení tenké vrstvy ve většině případů bez potřeby předešlého frézování povrchu. Z hlediska protismykových vlastností lze u těchto technologií docílit velmi sofistikovaných hodnot. Z akustického hlediska je vhodné použití kameniva úzké frakce vedoucího k omezení vlivu oscilace pneumatik a ke snížení „air-pumping“ efektu. Je ovšem nutné počítat s tím, že úprava nemá s ohledem ke své tloušťce a celkovému principu provedení zásadní drenážní funkci. [3]

5.7 Vymývaný beton

Cementobetonové kryty vozovek obecně představují systém uzavřené obrusné vrstvy bez výrazné makrotextury. Při měření jejich hlučnosti zjistíme, že zjištěná hladina akustického tlaku je vyšší než u vozovek netuhých. Z akustického hlediska lze zlepšení docílit vhodnou úpravou povrchové vrstvy. Prvního zlepšení v oblasti makrotextury a megatextury bylo docíleno použitím hladicí lišty, která vyrovnává příčné zvlnění vznikající za kladecím rámem finišeru. Jako finální úprava povrchu

se v posledních letech používala vlečená juta, která vytvářela podélnou strukturu cementobetonového krytu. I tento technologický krok přispívá k počátečnímu snížení hladiny hluky, ze zahraniční je však známo, že v důsledku omezené odolnosti proti ohladitelnosti se tento efekt po relativně krátké době vytrácí. Brzy se ovšem začala vyvíjet nová technologie úpravy povrchu cementobetonových vozovek známá jako vymývaný beton. Při této technologii se na čerstvý betonový kryt aplikuje postřik zpomalovače



Obr. 5.15 : Struktura vymývaného betonu [3]

tuhnutí, který působí do hloubky cca 2 mm. Současně se pro zamezení nadměrného odparu překryje celý povrch ochrannou folií. Přibližně po 24 - 30 hodinách od pokládky se ochranná fólie odstraní a speciálním kartáčováním se vytváří struktura vymývaného betonu (dochází k vymetání povrchové malty, čímž se obnaží zrnitá struktura) Z akustického hlediska je hlavním přínosem snížení vlivu oscilace pneumatiky, zároveň je také docíleno zabezpečení požadované drsnosti. [3]

5.8 Další protihlukové kryty

5.8.1 Nízkohlučný asfaltový koberec mastixový SMA LA (LA = Lärmarm)

Jedná se o nový druh asfaltových koberců mastixových se zvýšenou mezerovitostí, které dosahují podstatně vyššího útlumu hluku od dopravy než běžně používané mastixové koberce. Protihlukové směsi se začínají uplatňovat stále častěji většinou u intravilánových komunikacích. Směsi typu SMA LA vycházejí svojí skladbou z dobře známých asfaltových koberců mastixových, které byly vyvinuty v 70. letech v Německu a které se osvědčily zejména díky vysoké odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací, odolnosti vůči tvorbě trhlin a vysoké trvanlivosti. Běžná mezerovitost těchto směsí v obrusných vrstvách je cca 2,5 % až 4 %. Pro dosažení vyššího útlumu hluku je však nezbytné u směsi SMA LA tyto mezerovitosti zvýšit. Dle podkladů se pro směsi SMA LA požaduje mezerovitost 10 – 12 %. Pro dosažení tohoto útlumu hluku je nutno ve skladbě směsi jednak snížit obsah filerových částic a přidat nejhrubší použité frakce, tedy v případě směsi SMA 8 LA, které se nejvíce používají, frakci 5/8 mm (popř. 4/8 mm). Tím dojde k „otevření“ směsi a dosažení požadované mezerovitosti. Vysoká mezerovitost pak vyžaduje s ohledem na stárnutí použít buď vysoce modifikované pojivo (např. PmB 40/100-65), nebo asfalt modifikovaný pryžovým granulátem (CRmB). Kromě toho jsou taky vysoké požadavky na kvalitu kameniva, a to jak na otlukovost, tak i tvarový index, které se mají pohybovat maximálně do 20 %. [20]

5.8.2 Viaphone

VIAPHONE® je asfaltová směs zrnitosti 0/6 mm (Francie), resp. 0/8 mm vzhledem k frakcím kameniva vyráběným v ČR, s přerušenou křivkou zrnitosti v oblasti 2–4 (5) mm a vysokým obsahem hrubého kameniva frakce 4/6 nebo 4/8 (5/8). Podle soustavy norem ČSN EN se jedná o BBTM B (mezerovitost 11 až 15%) Obecně se jako pojivo používá silniční asfalt s přidavkem organických vláken. V závislosti na dopravním zatížení lze použít také asfalty modifikované polymery. Relativně vysoký obsah pojiva zlepšuje zpracovatelnost směsi VIAPHONE® a usnadňuje pokládku. Kromě podstatného snížení hluku od pneumatik také výrazně zvyšuje bezpečnost silničního provozu. Směs VIAPHONE® se pokládá v tloušťce 20–30 mm. Pokud je podklad příliš nerovný, musí se nejprve provést jeho vyrovnaní. VIAPHONE® má velmi zajímavou homogenní strukturu povrchu. Jemnozrnnost, mezerovitost a negativní textura povrchu VIAPHONE® snižuje valivý hluk při zachování velmi dobrých protismykových vlastností. I přes vyšší mezerovitost má VIAPHONE® velmi dobrou odolnost proti trvalým deformacím. Ilustrují to výsledky zkoušky provedené v Centrální laboratoři EUROVIA Services, s. r. o. [18]

6 VÝPOČTOVÉ MODELOVÁNÍ DOPRAVNÍHO HLUKU

V České republice jsou již přes 30 let k dispozici postupy pro výpočet hluku z pozemní dopravy v legislativně kodifikované podobě. Po tuto dobu jsou postupy aktualizovány, ale základní princip výpočtu, který spočívá ve výpočtu ekvivalentní hladiny akustického tlaku A (L_{Aeq}) v referenční vzdálenosti od dopravní cesty, zůstává zachován. Výpočtový proces se dělí na část emisní a část imisní. Pro výpočet dopravního hluku převážně od silniční dopravy se podle české legislativy používá postup vytváření základního modelu a dalšího jeho rozvoje. Jedná se o konstrukci matematických modelů. [42]

Modelování dopravního hluku slouží zejména pro:

- hodnocení akustické situace v okolí pozemní komunikací (ochrana zdraví, územní plánování, apod.)
- vyhodnocení hlukové zátěže obyvatel
- realizaci protihlukových opatření
- strategické hlukové mapování a akční plány [23]

Obecně platí, že hluk silniční dopravy závisí na intenzitě, skladbě, rychlosti a plynulosti dopravy, dále na podélném sklonu nivelety, druhu a stavu vozovky, okolní zástavbě, konfiguraci terénu, stínění, odrazech zvuku, meteorologických podmínkách.[41]

Silniční hluk, respektive ekvivalentní hladinu akustického tlaku L_{Aeq} , můžeme měřit nebo provádět výpočtové modelování. Pro posuzování výhledového stavu akustické situace ve venkovním prostředí se hodnoty L_{Aeq} stanoví výpočtem, a to podle postupu, který byl publikován v časopise Planeta 2/2005. Při porovnávání výsledků měření a výpočtů hluku silniční dopravy je vždy třeba vzít v úvahu meteorologickou situaci v době měření, jakož i korekce, které byly použity při výpočtech hodnot L_{Aeq} . [41]

Měření L_{Aeq} jsou vázána na měřicí bod a podmínky v době měření. Při modifikaci měřené situace je nutné, aby byla provedena měření nová. Nevýhodou měření je časová, finanční a organizační náročnost.

Výpočtové modelování můžeme použít pro existující situace a prognózy očekávaného stavu. Při zjišťování plošného stavu akustické situace v území je časově i organizačně méně náročné. Je zde možnost rychlé reakce na změny vstupních údajů. Výsledky modelování pak samozřejmě závisí na kvalitě vstupních údajů. [23]

Pro modelování dopravního hluku můžeme využít nejrůznějších programů jako například Hluk+, SoundPLAN, LIMA, MITHRA nebo IMMI. Pro každý tento program je nezbytné nadefinovat vstupní údaje o území a dopravě. Podklady o urbanisticko-morfologické situaci v území, v němž má být výpočtově zjištěn stav akustické situace ve venkovním prostředí v důsledku provozu na silničních komunikacích, se získávají z map vhodného měřítka. Volba měřítka příslušného mapového podkladu je závislá především na cíli výpočtu (např. výpočet stavu akustické situace pro dokumentaci k územnímu řízení, výpočet stavu akustické situace pro dokumentaci ke stavebnímu povolení, výpočet stavu akustické situace pro analýzu rizik z hluku, atd.), dále pak na podrobnosti výpočtu (např. výpočet podílů jednotlivých zdrojů hluku na překročení/nepřekročení nejvýše přípustných hodnot hluku v území, zjištění počtu objektů/podlaží/bytů/oken zasažených hlukem silniční dopravy, aj.). [41]

Základními dopravními podklady jsou údaje o druhu krytu, intenzitě dopravy, úrovni kvality dopravy, rychlosti a skladbě dopravního proudu v současné době a ve výpočtovém období, tytéž údaje o dopravním provozu linkových autobusů v současné době a ve výpočtovém období, v sídelních útvarech s MHD také tytéž údaje o dopravním provozu MHD v současné době a ve výpočtovém období. Vychází se přitom z údajů obsažených v dopravně-inženýrské dokumentaci jednotlivých sídelních útvarů, v celostátním sčítání dopravy nebo případně z údajů získaných v speciálně provedených dopravních průzkumech. Za žádoucí se pokládá využívání modelů dopravní sítě / modelů dopravní obsluhy řešeného území (pro současný / výhledový stav). Dopravně - inženýrské údaje o současném stavu silniční dopravy v území lze používat jako vstupní údaje pro výpočet současného stavu akustické situace ve venkovním prostředí a též jako podklad pro

stanovení výhledových dopravních údajů pro výpočet výhledového stavu akustické situace ve venkovním prostředí. [41]

Výpočet hluku z dopravy má následující postup:

1. Zavedení výše zmíněných vstupních údajů
2. Postup výpočtu L_{Aeq} pro homogenizovaný úsek (dle II. Novela metodiky výpočtu hluku silniční dopravy 2004)
3. Stanovení a přičtení korekcí
4. Výpočet výsledné hodnoty L_{Aeq} pomocí energetického součtu jednotlivých úseků

Jediný vstupní údaj pro výpočet silničního hluku, který můžeme pomocí realizace protihlukových vozovek ovlivnit, je faktor druhu krytu (F_3), jehož hodnoty jsou uvedeny ve výše zmíněné novele nebo v technických podmínkách TP 219. Tento faktor je nezbytnou součástí výpočtu L_{Aeq} .

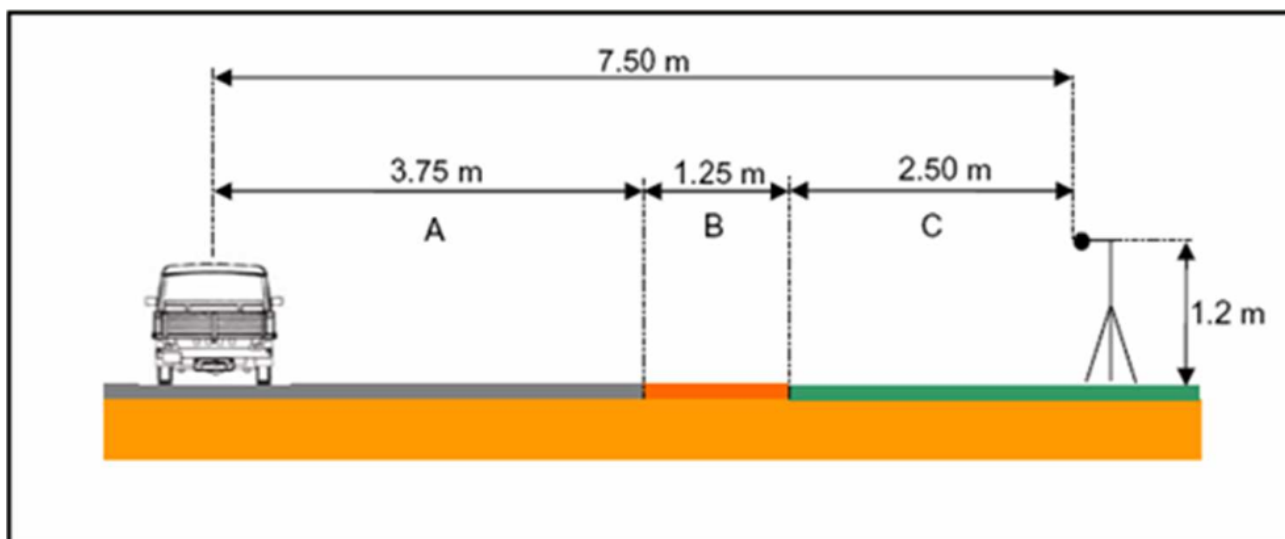
7 METODY MĚŘENÍ DOPRAVNÍHO HLUKU

Za účelem posouzení snížení účinků hluku konkrétního povrchu vozovky je nezbytné provést spolehlivá akustická měření. Žádná z měřících metod není natolik univerzální, aby mohla být použita pro všechny aplikace. Proto je důležité zvolit vhodnou metodu měření. Všechny tyto metody mají přesně specifikované postupy měření a každá z nich je určena na konkrétní případ měření hluku. Tyto metody jsou popsány v měřících standardech a technických normách. Z hlediska použití se v Evropě nejvíce používají metody SPB a CPX. [19]

7.1 Statistical Passby (SPB)

Při metodě SPB projíždí náhodné vozidla na testovaném úseku. Měřící zařízení zachytává vozidlo jedno po druhém. Maximální hladina akustického tlaku je zachycována pro každé projetí vozidla pomocí mikrofónů. Mikrofon je umístěn (dle evropských standardů) ve vzdálenosti 7,5 m nebo 50 stop (dle standardů amerických) od osy jízdního pruhu a 1,2 m nad povrchem. Rychlost a typ vozidla (osobní, nákladní, jednostopé, atd.) se zaznamenává pomocí radaru. U této metody se počítá normalizovaná hladina hluku pro referenční rychlosti (osobní automobily - 50,80 a 110 km/h, nákladní 50,70 a 85 km/h). Data jsou následně počítačově zpracována a výsledkem je Statistical Passby Index (SPBI), který se používá pro porovnání jednotlivých povrchů vozovek. Detaily mezinárodních standardů metody SPB jsou specifikovány v normě ISO 11819-1. Tato metoda bývá používána pro obecnější studie povrchů vozovek. Měření metodou SPB zahrnuje všechny aspekty dopravního hluku, včetně hluku motoru a hluku aerodynamického. Při měření SPB musí být dopravní proud usměrněn tak, aby kolem měřícího zařízení projelo pouze jedno vozidlo ve stejném

směru. Místo pro usazení mikrofonu je nutno zvolit tak, aby měření nebylo negativně ovlivněno okolním hlukem. Chyba při měření může nastat při nevhodně zvoleném terénu, kdy se může hluk odrazet nebo kdy je měření rušeno hlukem z pozadí. V zásadě by měly být hodnoty okolního hluku o 10 dB menší než hluk od měřené dopravy. Tato metoda je časově i pracovně náročná, ale poskytuje nejlepší důkaz o míře dopadajícího hluku z dopravy na zástavbu a obyvatele kolem pozemních komunikací. Příklad správně zvoleného místa je znázorněn na obrázku 17. [19]

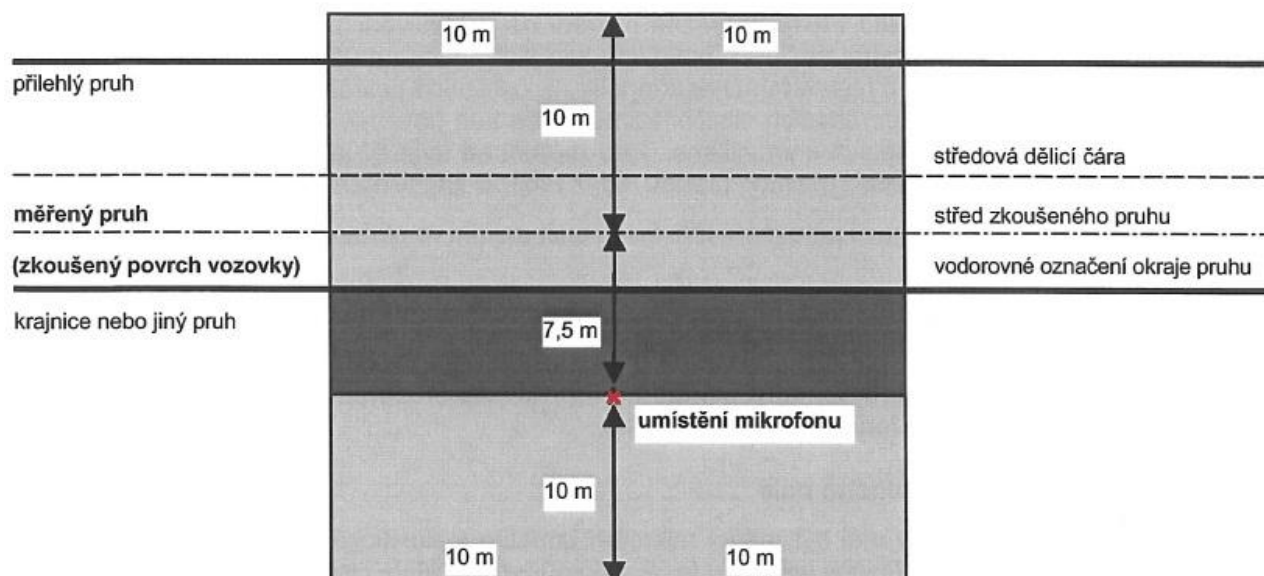


Obr. 7.1 : Schéma metody SPB při měření hluku [36]

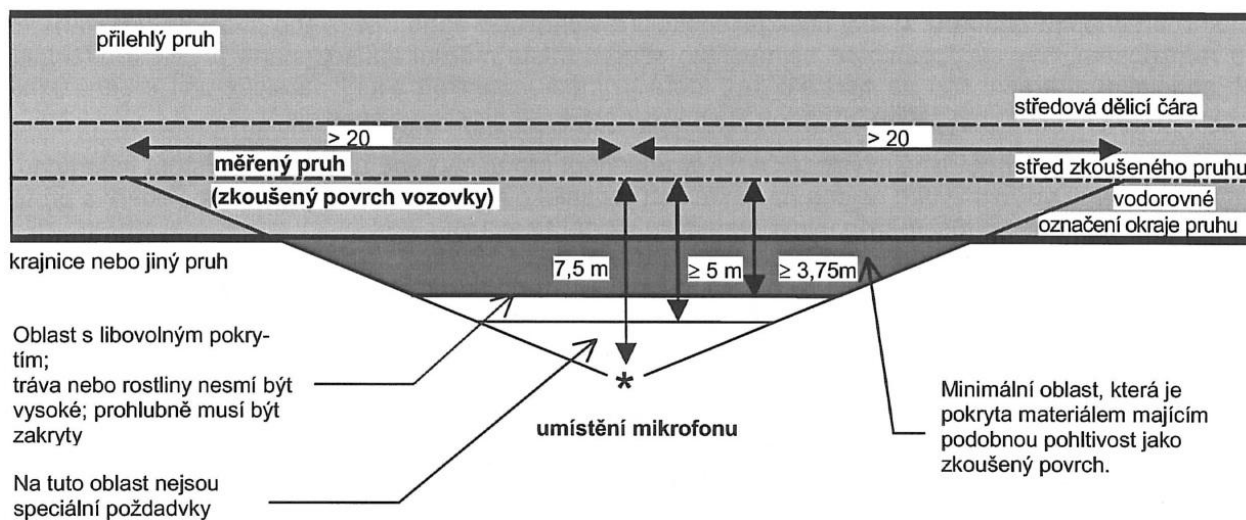
A - Minimální oblast, která je pokryta materiálem majícím podobnou pohltivost jako zkoušený povrch

B - Oblast s libovolným pokrytím; tráva nebo rostliny nesmí být vysoké; prohlubně musí být zakryty

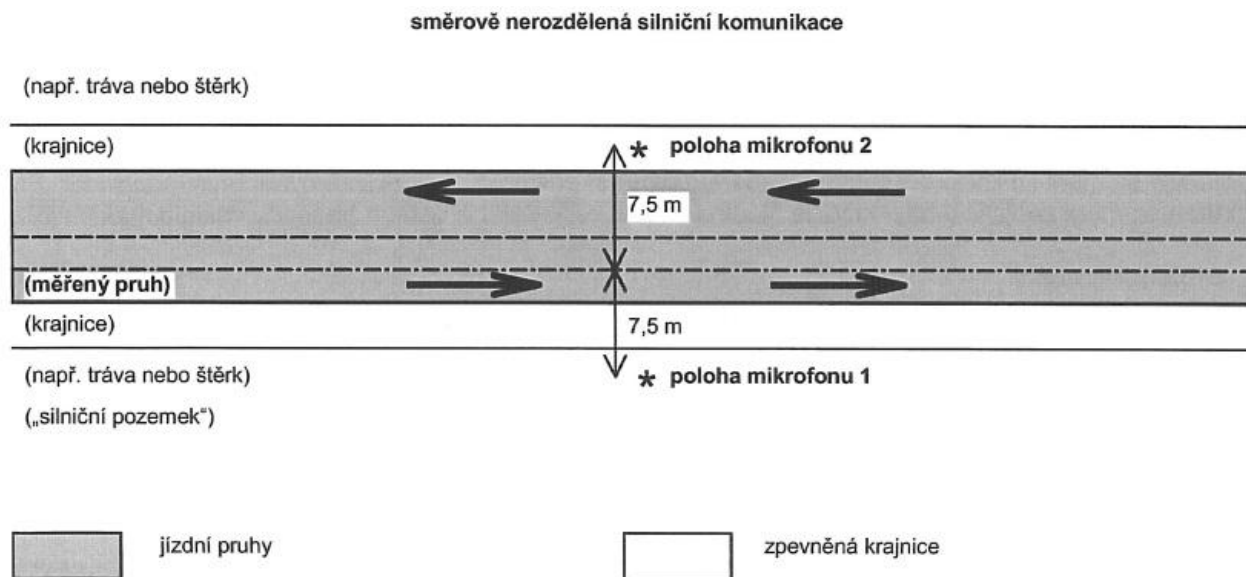
C - Na tuto oblast nejsou kladeny speciální požadavky



Uvnitř tohoto obdélníku se nesmí nacházet svodidla, pokud nejsou pokryta pohlivým materiálem. Nepřipouští se žádná betonová ani ocelová svodidla v té části obdélníku, která je mezi umístěním mikrofону a měřeným pruhem (vyznačen tmavším pruhem).



Obr. 7.2 : Požadavky týkající se nepřítomnosti odrazivých nebo stínících svodidel [21]



Obr. 7.3 : Umístění mikrofónů na směrově nerozdělených komunikacích [21]

7.2 Controled Passby (CPB)

Metoda CPB má stejné počáteční nastavení jako metoda SPB. Rozdíl je pouze v tom, že je testována pouze dvojice vozidel (malá a velká) s vybranými pneumatikami (na každé vozidlo dvě sady), která míjí mikrofón se zapnutým motorem. Vozidla jsou testována na určitém úseku mimo dopravní proud a jedou kontrolovanou, předem stanovenou rychlostí kolem měřicího zařízení. Měří se maximální hladina hluku, která může být v některých případech zvýšena projetím vozidla blíže k mikrofónu. Dále se počítá průměrná hodnota pro konkrétní rychlost. Alternativy povrchů pak bývají porovnávány pro každé vozidlo na základě jeho rychlosti. V USA v současné době neexistují žádné normy pro jednotnou úpravu této měřicí metody, ovšem v evropských zemích se vyvíjí standardizace pro EU a případně pro ISO, založená na francouzské národní normě. CPB se používá pro detailní zkoumání a porovnání různých druhů povrchů. Oproti metodě SPB, která by měla trvat přesně jednu hodinu, je výhodou CPB menší časová náročnost. Nevýhodou CPB je to, že díky nízké rozmanitosti vozidel (na rozdíl od SPB), může být výsledné hodnocení méně vypovídající. Podmínky pro měření metodou CPB jsou shodné s metodou SPB a vyžaduje nižší hustotu dopravního proudu, tudíž je vhodné, aby měření probíhala za venkovských nebo traťových zkušebních podmínek. [19]

7.3 Coast-By (CB)

Jde o modifikaci metody CPB. Testovací automobil s testovanými pneumatikami míjí s vypnutým motorem mikrofón při různých rychlostech. Obvykle se měří maximální hladina hluku pro

referenční rychlosti 80 km/h pro osobní automobily a 70 km/h pro nákladní automobily. Využívá se pro typové a generální testování pneumatik, detailní studie pneumatik a povrchů vozovky. [2]

7.4 Close-Proximity method (CPX)

Jde o metodu měření, ve které je referenční pneumatika upevněná buď na přívěsu za automobilem, nebo je namontována přímo na automobilu. Pneumatika se nechává odvalovat po povrchu vozovky a vznikající valivý hluk se měří nejméně dvěma mikrofony v bezprostřední blízkosti jeho vzniku (měří se hluk z interakce pneumatika/vozovka). Přívěs je vybaven krytem, který chrání mikrofony před aerodynamickým



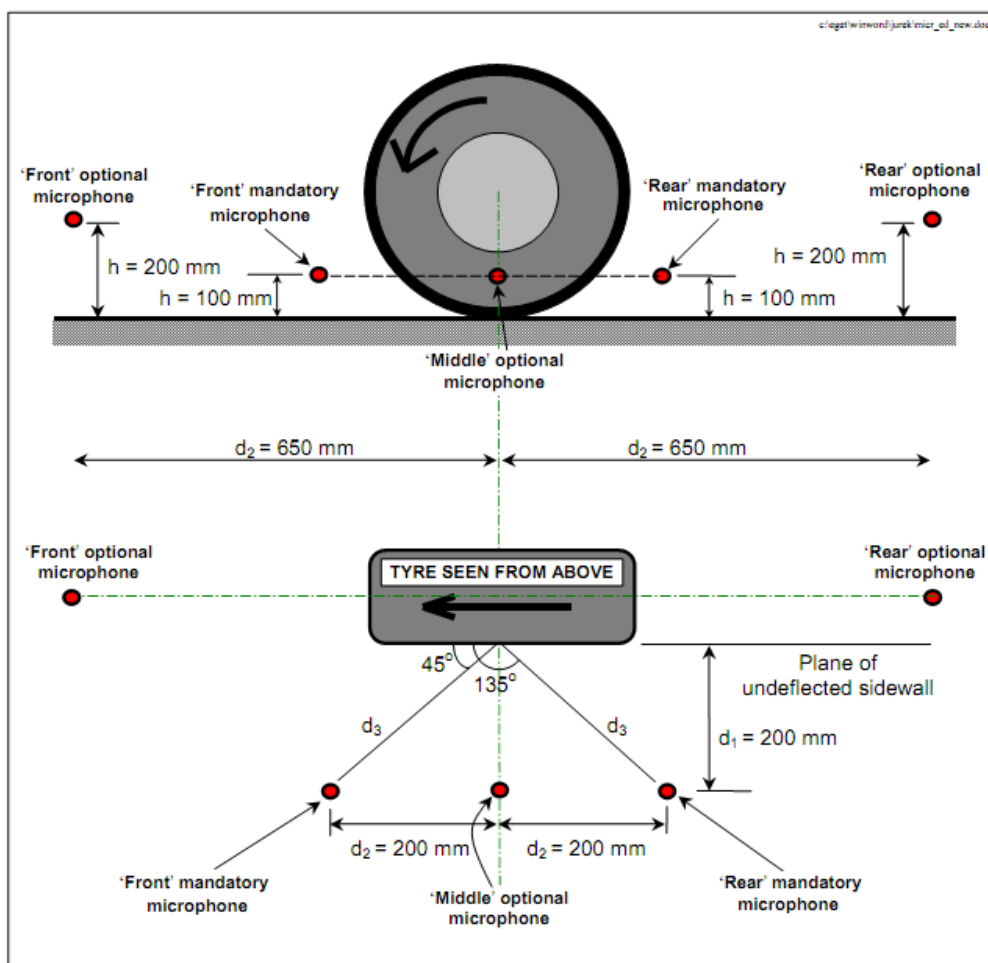
Obr. 7.4 : Metoda CPX s pneumatikou na přívěsu, krytou proti působení okolních vlivů [3]

hlukem a hlukem z okolní dopravy. Tudíž měření může prováděno v plném provozu na pozemních komunikacích. Pro měření se používají referenční rychlosti 50,80 a 110 km/h. Zaznamenávána je průměrná hladina akustického tlaku pro každý dvacetimetrový segment, výsledkem je index CPXI (Proximity Sound Index). V případě, kdy je referenční pneumatika umístěna přímo na vozidle, je hluk převážně měřen dvěma mikrofony, které jsou chráněny „čepičkami“. Tento způsob je více náchylný na působení okolních zdrojů hluku, tudíž je vhodné měření provádět v noci nebo o víkendech, kdy je hustota dopravy výrazně nižší. Výhodou proti přívěsu je kompaktnost a manipulace s vozidlem v případě otáčení vozidla na pozemní komunikaci. V obou případech jsou na pneumatiku kladeny určité požadavky. Je doporučeno, aby pneumatika nebyla zcela nová a měla by odjeto přibližně 100 km před prvním měřením. Statické zatížení pneumatiky je dle standardů stanoveno na 3200 kN (± 200 kN) a tlak na hodnotu 170 kPa (± 10 kPa). Podobně jako u metody SPB by měla hladina hluku v pozadí být nižší o 10dB než hluk od valící se pneumatiky. Není-li měření specificky zaměřeno na zjištění vlivu počasí nebo jiných podmínek životního prostředí na vyzařování hluku, musí být teplota okolního vzduchu v rozmezí 5 - 30°C, teplota povrchu vozovky by měla být v rozmezí 5 – 50°C. Podrobné informace ohledně CPX metody jsou sepsány v normě ISO/CD 11819-2. Metoda se využívá pro detailní studie povrchů a pneumatik nebo jako kontrola práce při povrchových úpravách. Ovšem důležitým činitelem při měření CPX metodou je vhodná volba úseku. V zásadě existují 3 parametry pro správný výběr měřeného úseku.

1. Délka úseku – Požadavek na měřicího úseku je předepsán v normě ISO/CD 11819-2: 2000. Každý zkušební úsek by měl mít minimální délku 200 m. Pro dosažení požadované

referenční rychlosti je zapotřebí mít před úsekem dostatečnou rozjezdovou dráhu. Za koncem úseku je nutná dostatečná dráha pro bezpečné zastavení vozidla. Je třeba počítat i místem pro otáčení vozidla a místem pro osazení měřicí aparatury.

2. Podélný sklon úseku – neměli bychom volit úseky ve stoupání, aby měření nebylo ovlivněno hlukem motoru. Je vhodné zvolit komunikaci s malými podélnými sklony.
3. Stav vozovky – místo pojezdu referenční pneumatiky by mělo být až do vzdálenosti 0,5 m od bočnice pneumatiky čisté a suché. Povrch vozovka by také měl být bez výtluků, nerovností či trhlin, zbaven větších nečistot (bláto, šterk). [1][2][19][33]



Obr. 7.5 : Předepsaná pozice mikrofonů při měření [33]

7.5 Close Proximity Sound Intensity (CPI)

Měření intenzity hluku je mnohem sofistikovanější měření než měření akustického tlaku. Intenzita je akustický výkon na jednotku plochy, a je obecně citlivější funkcí než akustický tlak. Kromě toho jsme schopni díky měření intenzity hluku zjistit zesilující mechanismy hluku v blízkosti jeho zdroje. Měření metodou CPI je stejné jako CPX. Sonda měřící intenzitu je umístěna v bezprostřední blízkosti pneumatiky. Při tomto měření není nutné zakrývat měřící sondu krytem pro ochranu před aerodynamickým hlukem. Měření lze provést v dopravním proudu při běžných provozních

rychlostech. Velkou výhodou je, že měření hlučnosti konkrétního typu vozovky a jeho stavu může být vytvořeno velice rychle. Nevýhodou tohoto měřicího zařízení je, že je namontováno na několik málo vozidel. [2][19]

7.6 On Board Sound Intensity method (OBSI)

Je podobná CPX metodě. Pro měření se používá sonda akustické intenzity, která není citlivá na okolní hluk. Metodu lze využít pro detailní studie povrchů a pneumatik a také ke kontrole práce při povrchových úpravách. Metoda nepotřebuje speciální přívěs. [2][19]

7.7 Metoda měření hluku pomocí časových intervalů

Při vysoké hustotě dopravy mohou být metody SPB a CPX použity jen velmi omezeně. Jelikož jednotlivé akustické impulzy projíždějících vozidel nejsou dokonale odděleny. Pro takové případy se používá metod stanovení hluku za časový interval. Tímto měřením stanovíme hodnoty akustického tlaku, z nichž vypočítáme ekvivalentní hladinu akustického tlaku L_{Aeq} . Podobně jako u metody SPB by měření nemělo být ovlivněno okolním hlukem, jehož maximální hladina by měla být o 10 dB menší ve srovnání s hlukem dopravního proudu. Při této metodě měření se rovněž zaznamenává hlučnost, rychlost a druh vozidla. Někdy bývají doplňujícím údajem meteorologické podmínky. Tato metoda měření se často používá pro zhodnocení vlivu času na akustické charakteristiky dálničních povrchů. [19][29]

7.8 Laboratorní měření

Laboratorní výzkum pneumatik pro všechny typy mechanických problémů, včetně trvanlivosti a protismykových vlastností se provádí metodou točících se bubnů (rolling drums). Tyto bubny jsou tak velké, jak je to možné, aby povrch vypadal co nejplošší, díky tomu je dosaženo větší realističnosti výzkumu. Odstředivé síly omezují použití realistických povrchů na točícím se bubnu. Pro simulaci textury povrchu, jsou bubny pokryty replikou povrchu vozovky vyrobeného z epoxidu. Bubny mají poloměr od 1 m do 15 m, a jsou použity pro studie hluku z rozhraní pneumatika/vozovka. Výzkum používaných povrchů se tak provádí na testovací zařízení TPTA (Tire/Pavement Test Apparatus). To bylo vyvinuto tak, aby byla možná montáž reálného povrchu na stacionární kruh. Poloměr takového TPTA zařízení se pohybuje kolem 4 metrů. Používá se zatížení až 1000 liber (cca 500 kg) a rychlost maximálně 30 Mp/h (cca 50 Km/h). [19][29]



Obr. 7.6 : Testovací aparatura Tire/Pavement (TPTA) s vzorky namontovanými na měřicí ploše [19]

8 REALIZOVANÁ MĚŘENÍ

Naše měření jsme prováděli pomocí mírně modifikované metody CPX s referenční pneumatikou osazenou přímo na vozidle. Hluk vznikající na styku pneumatika/vozovka jsme měřili pomocí dvou mikrofónů. Mikrofóny byly uchyceny na speciální konstrukci, kterou jsme připevnili přímo na karoserii vozidla pomocí dvou přísavek. Vzdálenosti mikrofónů od pneumatiky a povrchu vozovky splňovaly ustanovení normy ISO/CD 11819-2. Pomocí kabelů jsme mikrofóny zapojili přímo do externí zvukové karty M-AUDIO Fast Track Pro, která byla pomocí sběrnice USB propojena přímo s notebookem vybaveným programem SpectraPLUS. USB sběrnice zajišťovala jednak datový přenos ze zvukové karty do notebooku, tak napájení samotné zvukové karty. Dalším potřebným zařízením pro značení požadovaných orientačních bodů bylo akustické zařízení vydávající zvukový signál o frekvenci 2500 Hz se spínačem uvnitř vozidla. Doprovodný komentář byl nahráván na diktafon Pro zaznamenávání přesné polohy a rychlosti vozidla byla použita navigace GPS.



Obr. 8.1 : Měřicí sestava osazená na vozidle



Obr. 8.2 : Elektronika nezbytná k měření (zvuková karta a notebook s programem SpectraPLUS)

Měřicí sestava osazená na vozidle BMW 5er E60 se tedy skládala z těchto komponentů:

- 2 x měřicí mikrofón iSEMcon typ EMM-13D082/H-P48/RM
- akustický kalibrátor iSEMcon SC-1,
- USB audio interface M-AUDIO Fast Track Pro,
- notebook s programovým vybavením SpectraPLUS,
- GPS logger HOLUX M-1000C.
- diktafon Sony ICD-PX333M



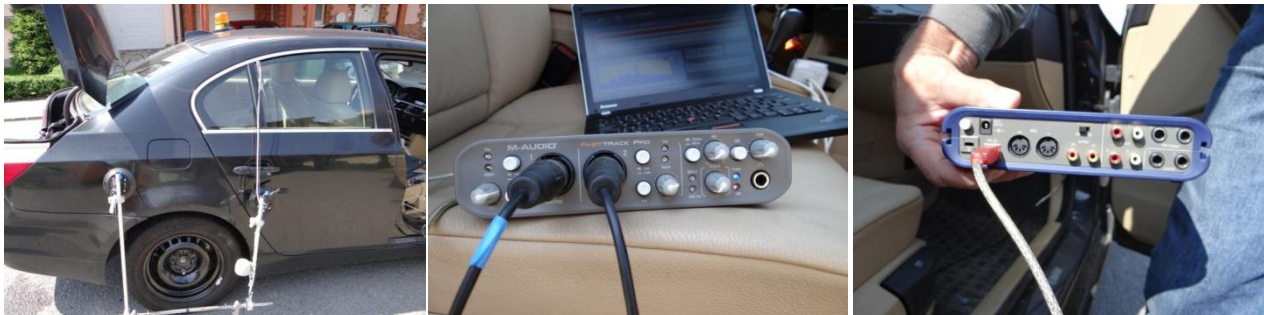
Obr. 8.3 : Jednotlivé komponenty měřicí sestavy

Správný postup přípravy před zahájením měření je následující:

- 1) Osazení referenční pneumatiky na vozidlo BMW 5er E60
- 2) Upevnění aparatury s mikrofony na karoserii vozidla tak, aby vzdálenosti mikrofonů splňovaly ustanovení normy ISO/CD 11819-2 (viz Obr. 5.4)
- 3) Pomocí kabeláže zajistit správné spojení mezi mikrofony, externí zvukovou kartou M-AUDIO Fast Track Pro a přenosným počítačem.
- 4) Nakalibrování mikrofonů pomocí akustického kalibrátoru iSEMcon SC-1 a programu SpectraPLUS (po kalibraci je nutné navléknout na mikrofony ochranné čepičky)
- 5) Zapojení akustického zařízení dávajícího zvukový signál o frekvenci 2500 Hz do 12V zásuvky automobilu.
- 6) Zapnutí GPS navigace logger HOLUX M-1000C s dostatečným předstihem před samotným měřením z důvodu vyhledávání družic.

Při samotném měření musí být přítomni minimálně dva členové posádky automobilu, řidič a spolujezdec. Úkolem řidiče je udržovat konstantní rychlost vozidla, pokud to dovoluje dopravní situace. Spolujezdec má na starost obsluhu přenosného počítače s programem SpectraPLUS (program musí být správně nastaven a musí být v režimu „recorder“). Dále také zaznamenává důležité orientační a staniční body měření, jakou jsou např. pracovní spáry jednotlivých typů obrusných vrstev, závěry mostů, jízdní a přídatné pruhy, křižovatky, čerpací stanice a jiné. Tento „frekvenční“ záznam provádí stisknutím tlačítka spínače akustického zařízení, které vydá zvukový signál o frekvenci 2500 Hz, jež je zpětně dohledatelný ve výsledcích měření. Souběžně pomocí diktafonu provádí hlasový záznam popisující orientační body a průběh měření. Z vlastní zkušenosti doporučuji nejprve zapnout digitální diktafon, do kterého si poznamenáme místo, kde se nacházíme, přesný čas, úseky, na kterých budeme provádět měření a také typy jednotlivých obrusných vrstev. Následně provedeme stisknutí tlačítka „REC“ v programu SpectraPLUS a v ten samý okamžik si do diktafonu vložíme poznámku, s jakým zpožděním od zapnutí diktafonu spouštíme nahrávání v programu SpectraPLUS. Po ukončení měření je nezbytné provést uložení záznamu z programu SpectraPLUS. Opět doporučuji, pokud je to možné, ukládat po jednotlivých měřeních. Tohle všechno nám pomůže zjednodušit vyhodnocování naměřených výsledků. Následný export dat se provádí v režimu „post process“ pomocí funkce „data logging“, kde si nastavíme požadované hodnoty exportu (Spectrum Values, Total Power, Peak Frequency and Amplitude, Leq values, atd) a interval, po kterém bude program vypisovat jednotlivé hladiny akustického tlaku. GPS data, důležitá převážně pro kontrolu rychlosti vozidla při měření hlučnosti jednotlivých povrchů, lze

získat pomocí programu přiloženého k navigačnímu zařízení. Mezi daty získanými z GPS navigace je kromě rychlosti také přesný čas, zeměpisná poloha a projetá trasa. Pro vyhodnocení exportovaných hodnot poslouží tabulkového editor Microsoft Excel, který jsem také využil.



Obr. 8.4 : Aparatura s mikrofony osazená na vozidle, propojení mikrofónů se zvukovou kartou připojenou k počítači



Obr. 8.5 : Ověřování předepsané vzdálenosti mikrofónů

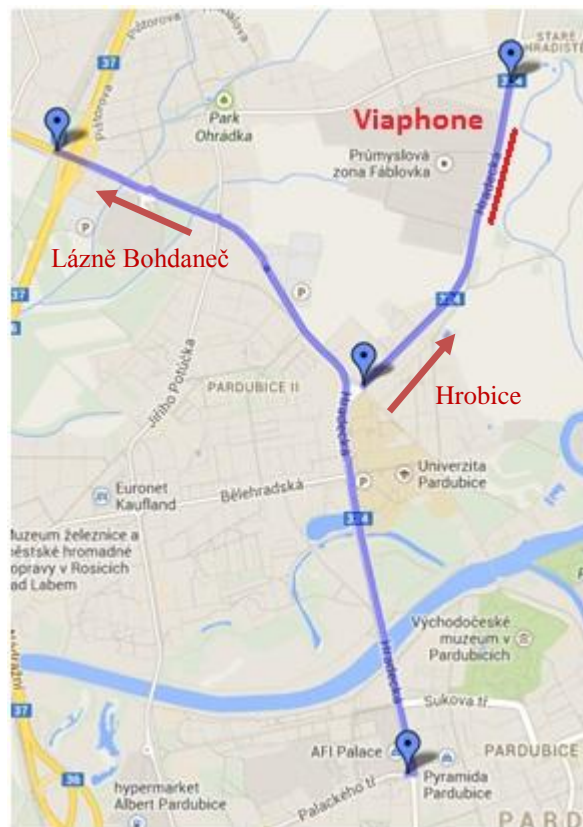


Obr. 8.6 : Pracovní prostředí programu SpectraPLUS(vlevo) a vzorek referenční pneumatiky (vpravo)

8.1 Měření v Pardubickém kraji – město Pardubice, Skuteč

8.1.1 Popis úseku

První měření hlučnosti krytů vozovek proběhlo v městě Pardubice na komunikaci II/324 v ulici Hradecká a na III/32224 v ulici Poděbradská. Uvedené komunikace jsou bývalou silnicí I/37 a byly vybrány k realizaci v rámci podpory nových technologií státním fondem dopravní infrastruktury s názvem „Ověření vlastností tichých krytů“. V pardubickém kraji se už delší dobu usiluje o používání protihlukových krytů vozovek. V současné době se v Pardubicích ověřují položené drenážní koberce PA 8 CRmB a VIAPHONE®, mastixové SMA LA a asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy BBTM 5 A. Vrstva PA 8 CRmB se nacházela na části komunikace směrem na Lázně Bohdaneč (viz Obr 8.7). Drenážní vrstva PA 8 CRmB byla v tomto úseku položena záměrně, protože zde má komunikace nezpevněnou krajnici, tudíž je zajištěn odtok vody z vrstvy. V stejném úseku se také nachází vrstvy BBTM 5 A, které jsou po krajích lemovány přídlažbou. Celková délka měřeného úseku směrem na Lázně Bohdaneč je cca 3,8 km. Obrusná vrstva Viaphone se nachází v úseku směrem na Hrobice (viz obr. 8.7) v délce přibližně 0,3 km. Právě na těchto vrstvách vozovky jsme prováděli měření ekvivalentní hladiny akustického tlaku pomocí metody CPX. [38]



Obr. 8.7 : Vyznačení měřených úseků v Pardubicích



Obr. 8.8 : Detailní pohled na povrch vrstev BBTM 5 A (vlevo) a PA 8 CRmB (vpravo) [38]



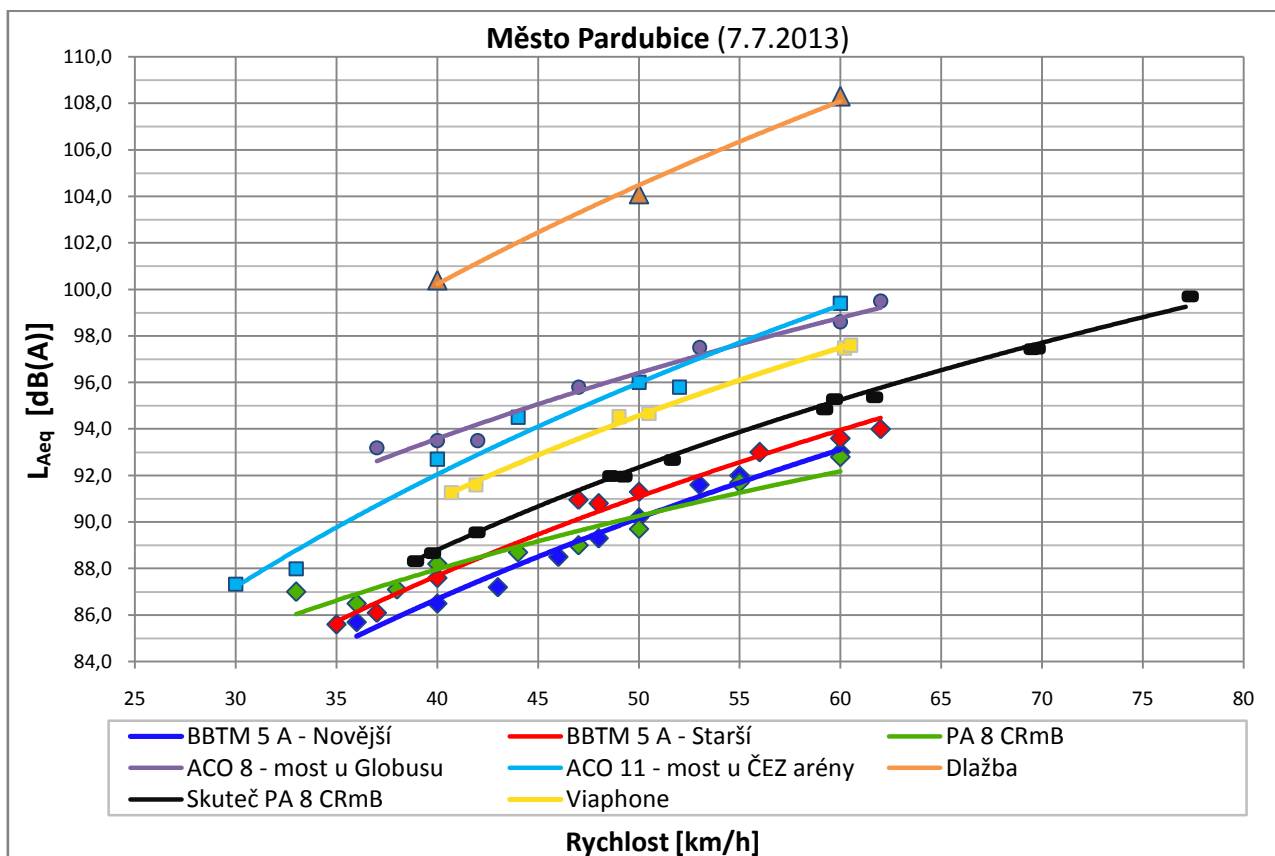
Obr. 8.9 : Pokládka asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy BBTM 5 A [38]

V obci Skuteč jsme měřili na komunikaci II/358 v úseku, který byl dlouhý přibližně 1,4 km. Důvodem, proč jsme navštívili obec Skuteč, byla v roce 2011 položená obrusná vrstva z asfaltového koberce drenážního PA 8 CRmB, která se nachází mezi dvěma asfaltovými betony ACO 8. Asfaltový beton ACO 8 u čerpací stanice byl položen v roce 2012, kdežto ACO 8 v části druhé má za sebou již 20 let provozu. Délka komunikace s úpravou PA 8 CRmB je cca 450 m (viz. Obr. 8.10). Výhodou tohoto úseku bylo, že jsme zde mohli projíždět i vyššími rychlostmi, a to až do cca 80 km/h. Naměřené hodnoty jsou patrné z černé křivky v níže uvedeném grafu. Vrstvy ACO 8 jsme pro porovnání měřili také. Ovšem v hledáčku našeho zájmu je měření protihlukových vlastností tzv. „tichých vozovek“, tudíž v souhrnném grafu 8.1 výsledky z měření ACO 8 neuvádím.

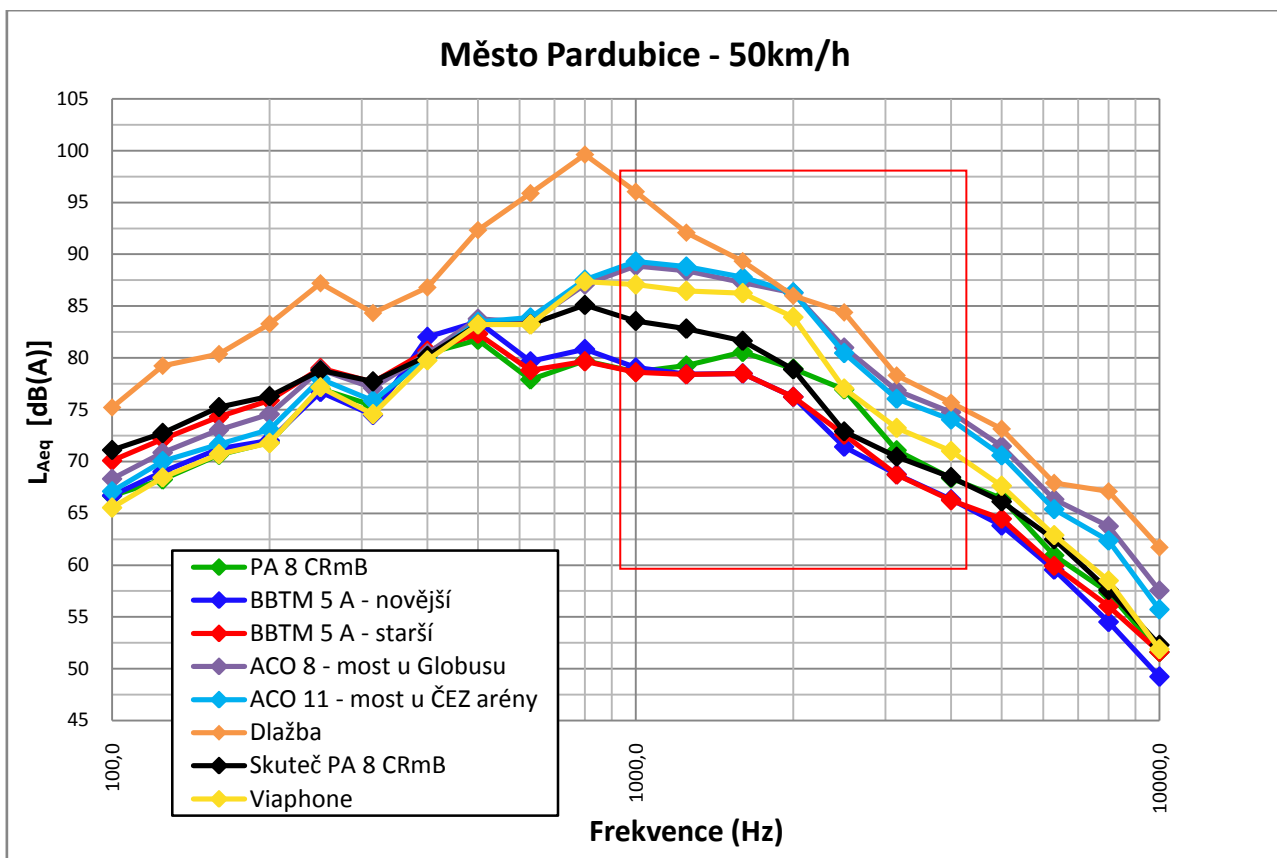


8.1.2 Vyhodnocení výsledku měření hluku

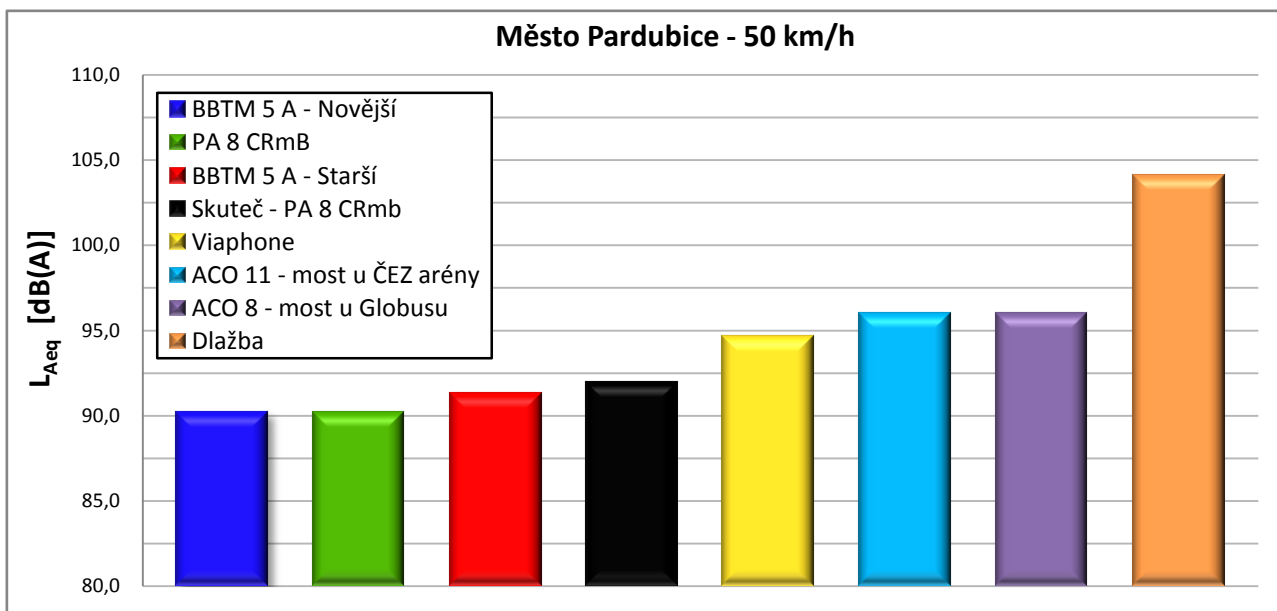
Obr. 8.10 : Vyznačení měřených úseků v mapě



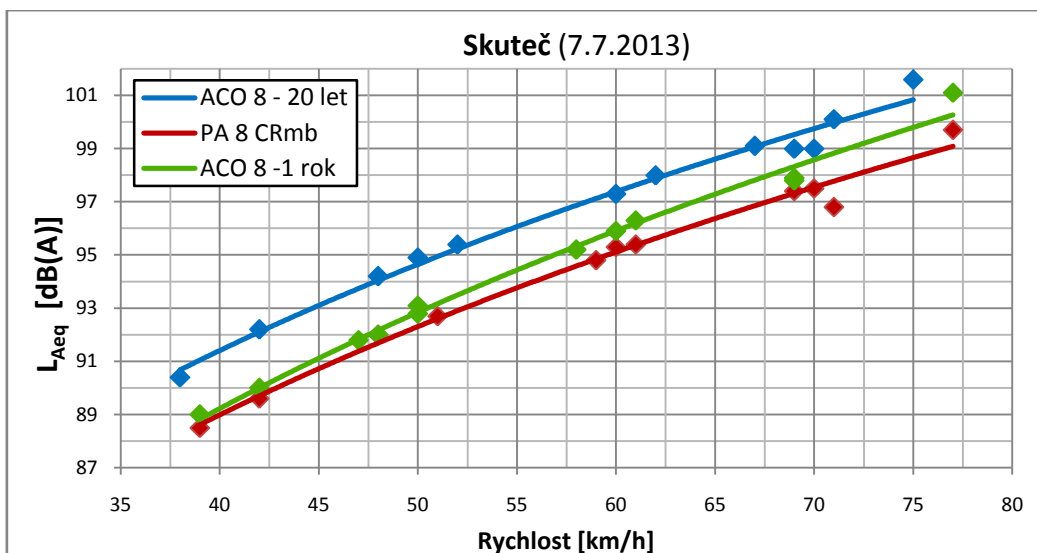
Graf 8.1 : Ekvivalentní hladina hluku srovnávaných povrchů v závislosti na rychlosti



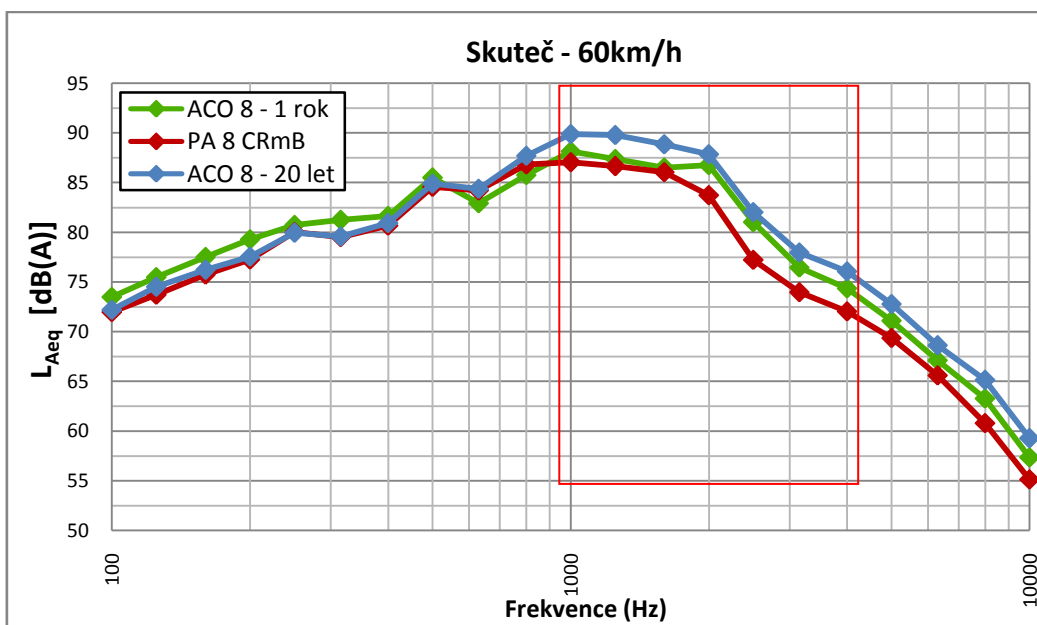
Graf 8.2 : Srovnání protihlukových vlastností pomocí frekvenční analýzy (při 50 km/h)



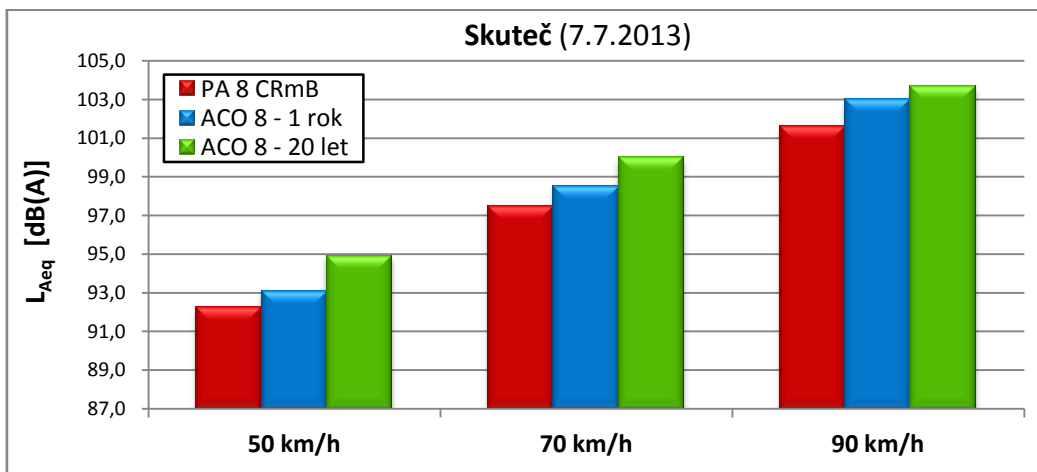
Graf 8.3 : Sloupcové grafy srovnání ekvivalentní hladiny jednotlivých povrchů při 50 km/h



Graf 8.4 : Závislost ekvivalentní hladiny akustického tlaku na rychlosti



Graf 8.5 : Frekvenční spektrum naměřených hodnot



Graf 8.6 : Porovnání vrstev ACO 8 s PA 8 CRmb v obci Skuteč při různých rychlostech

8.1.3 Shrnutí

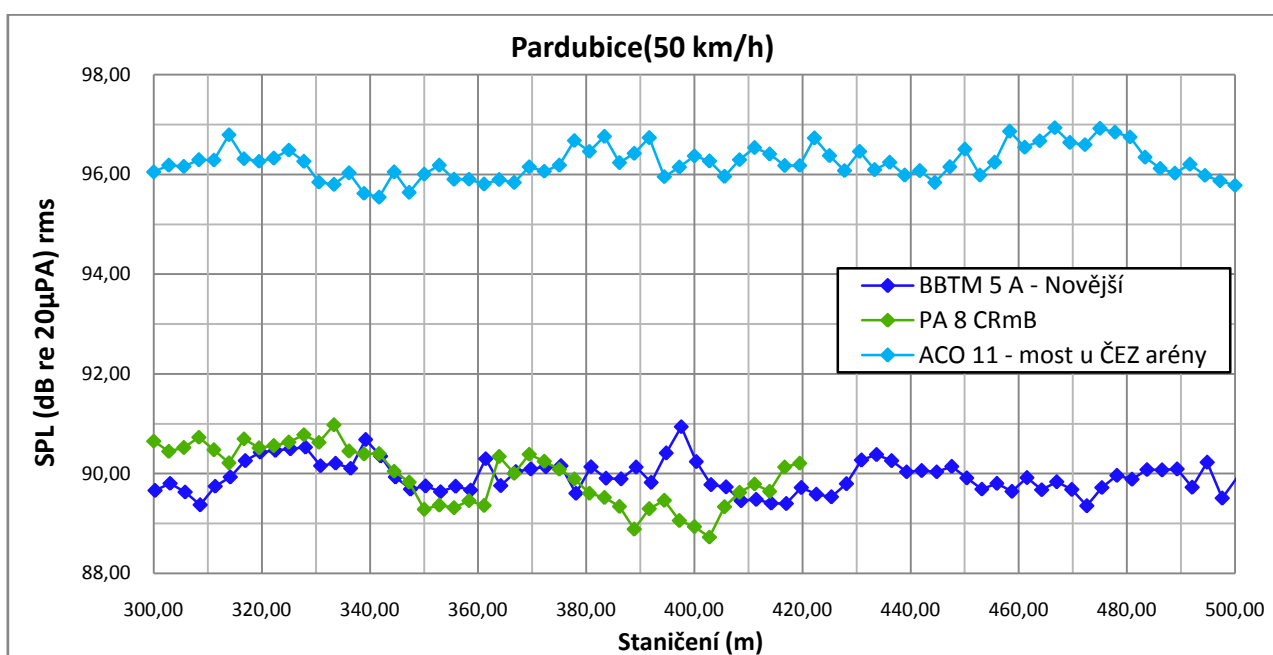
Stanovená hlučnost nových povrchů je porovnávána s hlučností povrchů na přilehlých úsecích, na neopravených úsecích a na dříve pokusně vybudovaných protihlukových úpravách v Pardubicích nebo v jejich blízkosti. Těmi jsou:

- asfaltový beton zrnitosti 11 mm (ACO 11) na přilehlém Wonkově mostě (most u ČEZ arény)
- asfaltový beton zrnitosti 8 mm (ACO 8) na pokračování ulice Poděbradská,
- asfaltový koberec drenážní (PA 8, CRmB) na silnici II/358 ve Skuteči, úprava je z roku 2012,
- asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy zrnitosti 8 mm (VIAPHONE®) na pokračování II/324 a ulice Hradecké ve Starém Hradišti, úprava je z roku 2011,
- dlažba z přírodního kamene na Masarykově náměstí v Pardubicích. [38]

Při porovnání naměřených výsledků hladin hluku jednotlivých vrstev s výše uvedenými vrstvami může konstatovat že:

- Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy BBTM 5A je z hlediska snížení hluku pro místní komunikace nejvhodnější úpravou, emise hluku jsou do rychlosti 55 km/h nejnižší.
- U BBTM 5A položeného dříve můžeme oproti čerstvě položenému BBTM 5A pozorovat v měřeném rozsahu rychlostí zhoršení o 1 dB.
- Vrstva PA 8 CRmB své lepší protihlukové vlastnosti prokazuje až od rychlosti 55 km/h, vrstva díky větší zrnitosti vydává hlubší tón a růst hladiny hluku na rychlosti je méně závislý.
- Vrstva PA 8 CRmB položená v roce 2012 na silnici II/358 ve městě Skuteč má ekvivalentní hladinu akustického tlaku L_{Aeq} oproti PA 8 CRmB na ulici Poděbradské při rychlosti 40 km/h o 0,5 dB vyšší a při rychlosti 60 km/h o 1,5 dB vyšší. Tento rozdíl je způsoben zanášením drenážního koberce nečistotami, které snižují schopnost povrchu pohlcovat hluk. Právě tyto nečistoty by měly být z drenážního koberce čištěny tlakovou vodou, bohužel se tak neděje.
- PA 8 CRmB v obci Skuteč ve srovnání s přilehlými úseky z ACO 8 dosahuje při 50 km/h hodnot nižších o 0,8 až 2,6 dB, při 60 km/h je rozdíl 1 až 2,5 dB a při rychlosti 90 km/h jsou hodnoty níže o 1,4 až 2,1 dB.
- Obrusná vrstva VIAPHONE® je v celém rozsahu rychlostí o 2,2 dB hlučnější než nový PA 8 CRmB.
- Povrch z ACO 11 na Wonkově mostě je oproti novějšímu BBTM 5A v rozsahu rychlostí 40 km/h až 60 km/h v průměru o 6 dB hlučnější a oproti PA 8 CRmB je hlučnější o 4,5 až 6 dB.

- Obrusná vrstva za koncem úseku na III/32224 provedená z ACO 8 s vysprávkami je oproti BBTM 5A v rozsahu rychlostí 40 km/h až 60 km/h v průměru o 6,5 dB hlučnější a oproti PA 8 CRmB je hlučnější o 5,5 dB.
- Naprosto nejvyšší hluku byl naměřen na povrchu kamenné dlažby, kde byla stanovena hlučnost o 12 dB až 15 dB vyšší než na BBTM 5A a nebo na PA 8 CRmB. Jediné vozidlo jedoucí po dlažbě vyvolá stejný hluk jako 18 až 30 stejných vozidel jedoucích po BBTM nebo PA. [38]



Graf 8.7 : Hladina akustického tlaku BBTM 5 A v závislosti na staničení

Výše uvedený graf 8.7 vznikl vynesemím ekvivalentní hladiny akustického tlaku L_{Aeq} za každé 0,2 s. Při rychlosti měřicího automobilu 50 km/h odpovídá každá vnesená hodnota L_{Aeq} pozemní komunikace o délce cca 2,78 m. Tento způsob vyhodnocení může poukázat na nehomogenitu směsi v jednotlivých úsecích a odhalit začínající poruchy vozovky ještě dříve, než by byly rozpoznatelné vizuálně.

8.1.4 Závěr z měření

Na základě měření můžeme konstatovat, že provedené úpravy na průtahu městem Pardubice jsou velmi povedené. Realizace těchto úprav byla provedena za částečně vyloučeného provozu pomocí velmi tenkých obrusných vrstev. Touto opravou bylo dosaženo účelného snížení silničního hluku, který zde byl velmi vysoký, a to kvůli vysoké intenzitě dopravy (až 22705 voz/den). Díky realizaci protihlukových krytů došlo k snížení emisí hluku o 5 až 6 dB oproti původním povrchům. Ve srovnání s dříve položeným PA 8 CRmB okolo 1dB, oproti technologii VIAPHONE® o 3 dB a ostatní technologie provedené v kraji vykázaly jen nízké snížení hlučnosti. Snížení o 3 dB odpovídá snížení intenzity dopravy na polovinu nebo snížení rychlosti vozidel z 60 km/h na 50 km/h, snížení o 6 dB znamená snížení intenzity vozidel na jednu čtvrtinu nebo umožní zvýšit rychlost vozidel ze 40 km/h na 60 km/h. [38]

Z hlediska frekvenčního spektra (Graf. 8.2), to je závislosti hladiny hluku na frekvenci, dosahují rozdíly protihlukových krytů BBTM 5 A a PA 8 CRmB v nejcitlivějším oblasti lidského ucha (1000 – 4000 Hz) až 7,5 dB oproti povrchům ACO 8 a 11. Z toho vyplývá, že pocitové snížení hluku může být pro obyvatele města ještě znatelnější. Celkové snížení dopravního hluku pomocí protihlukových krytů odpovídá snížení intenzity dopravy v Pardubicích o více jak 60%. V obci Skuteč se hladinu hluku podařilo oproti povrchům z asfaltového betonu také snížit. Rozdíl můžeme vidět v grafu 8.5, kde se křivka PA 8 CRmB ve vyšších frekvencích pohybuje až o 2,5 dB níže. Hlučnost bude i nadále měřena a zaznamenávána pro studii dlouhodobých změn.

Dále je také nutné dodat, že velmi dobré protihlukové vlastnosti těchto krytů nejsou jediným přínosem pro dnešní společnost. Asfaltové vozovky s pojivem modifikovaným pryžovým granulátem mají také vysokou odolnost proti tvorbě trvalých deformací, velmi dobrou odolnost vůči únavě a zvýšenou odolnost proti trhlinám, to vše při zachování dobrých protismykových vlastností.

Co se týče hlediska ekonomického, můžeme říci, že realizací nízkohlučných vozovek dojde k ušetření velkého množství finančních prostředků. Nebude nutné stavět drahá protihluková opatření (například protihlukové stěny) a zároveň bude dosaženo zvýšení životnosti vozovek. Tou stěžejní výhodou nízkohlučných krytů vozovek je eliminace zdroje hluku přímo v místě jeho vzniku.

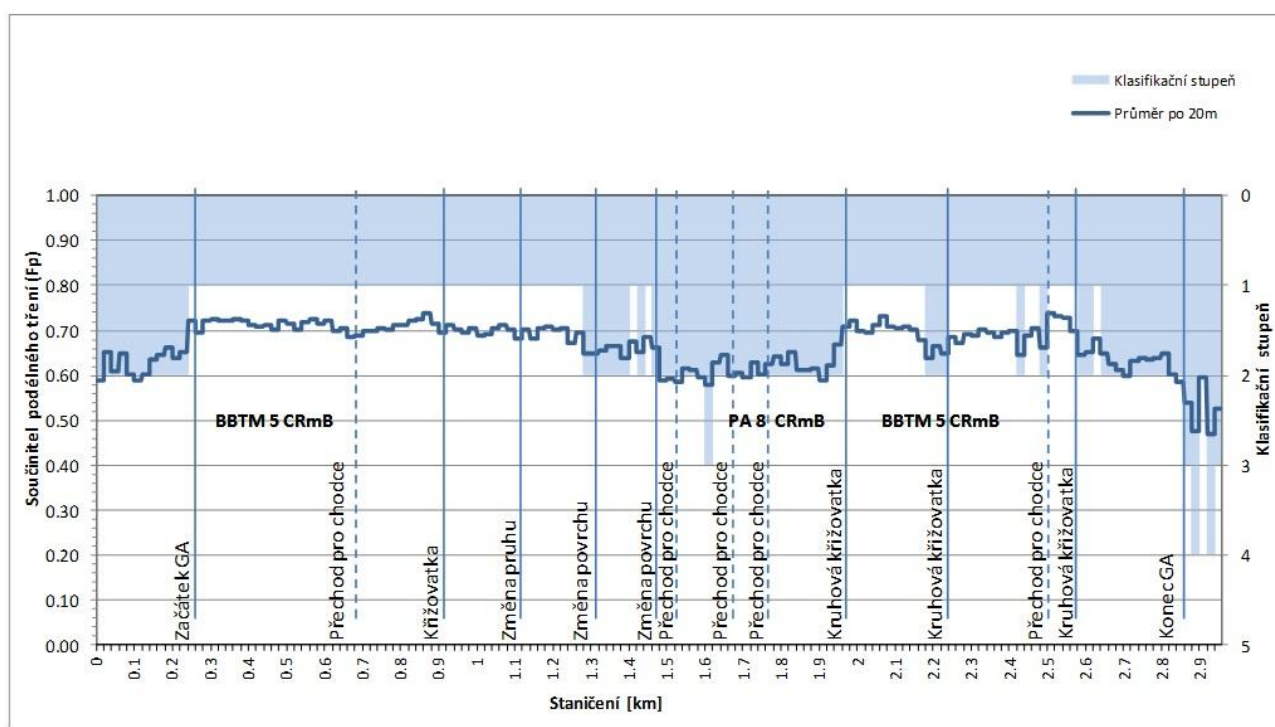
Na nových úsecích s CRmB probíhala také měření základní charakteristiky vozovky, a to její povrchové vlastnosti, které se s užíváním (opotřebováním) vozovky mění:

- Protismykové vlastnosti povrchu, vyjádřené součinitelem podélného tření, stanovené zařízením GripTester, měření a hodnocení je provedeno podle ČSN 73 6177,
- Makrotextura povrchu, vyjádřená pomocí laserového měření hodnotou MPD, stanovená zařízením HawkEye, měření a hodnocení je provedeno podle ČSN 73 6177,

- Rovnost povrchu, vyjádřená hodnotou mezinárodního indexu nerovnosti IRI, stanovená zařízením HawkEye, měření a hodnocení je provedeno podle ČSN 73 6175,
- Hodnoty vlastností povrchů jednotlivých úprav jsou zachyceny v obrázcích 11 až 13. [38]



Obr. 8.11 : Měřicí zařízení GripTester® (vlevo) a měřicí zařízení Hawkeye 1000 na vozidle VW Multivan[39]

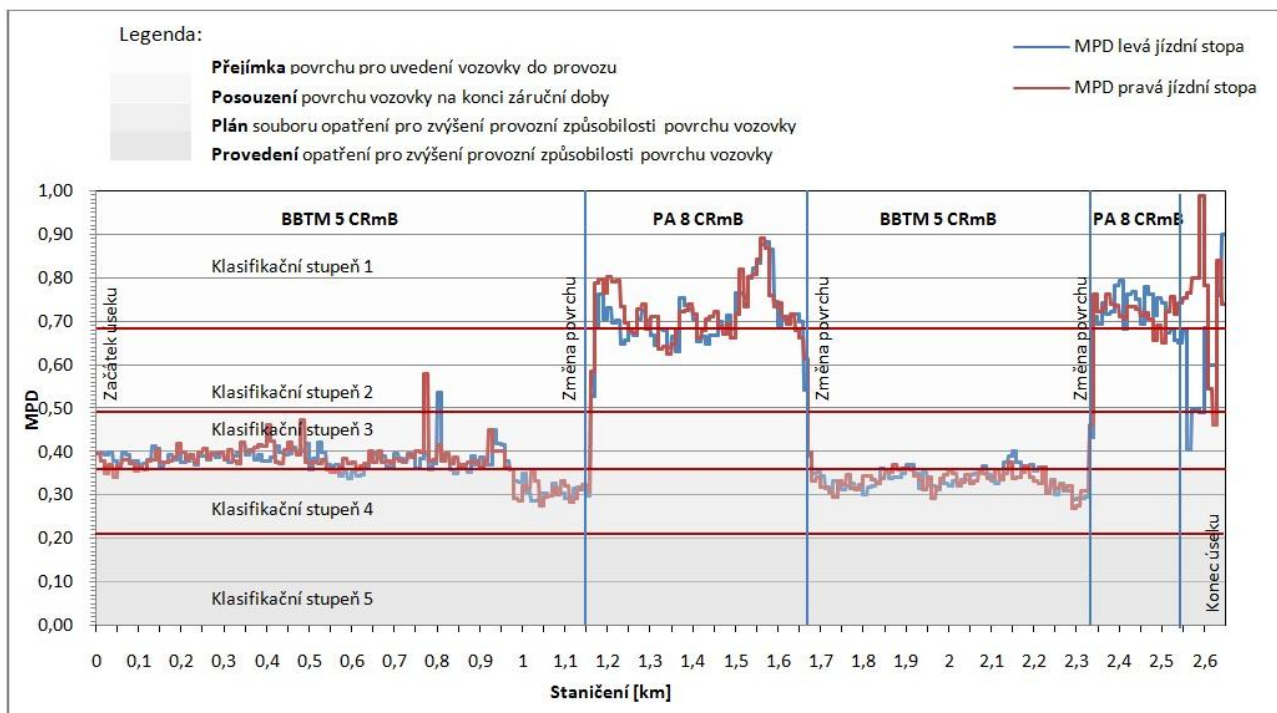


Obr. 8.12 : Graf z měření protismykových vlastností povrchu vozovky [38]

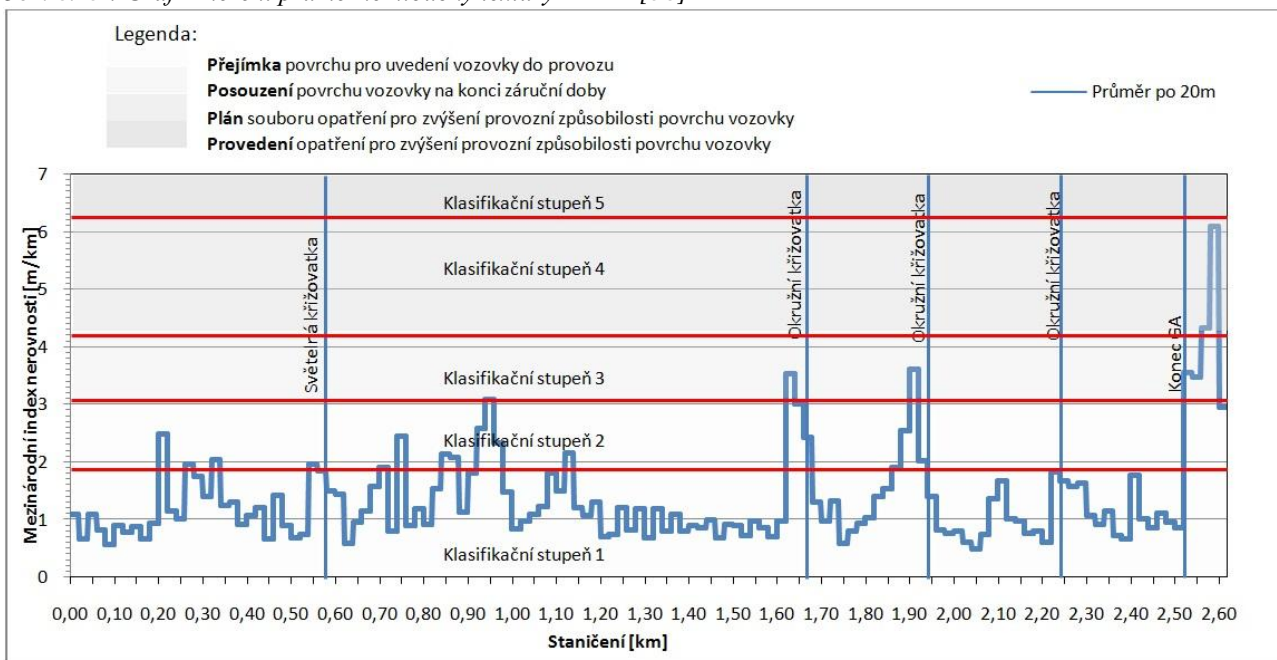
Protismykové vlastnosti hodnocené součinitelem podélného tření dokladují, že povrch již od počátku užívání splňuje požadavky pro silnice a městské komunikace. Výhodnější vlastnosti má BBTM 5 A, všechny jednotlivé úseky o délce 20 m jsou v klasifikaci 1. (viz Obr. 8.12) [38]

Protichůdně působí hodnota MPD (mean profile depth) charakterizující makrotexturu. Jednotný povrch tvořený zrny kameniva frakce 2/4 mm nevytvořil makrotexturu, která by byla dobře

hodnocena laserovým měřením. Po hodnocení je ovšem závazné stanovení součinitele podélného tření (viz Obr. 8.13). [38]



Obr. 8.13 : Graf z měření průměrné hloubky textury – MPD [38]

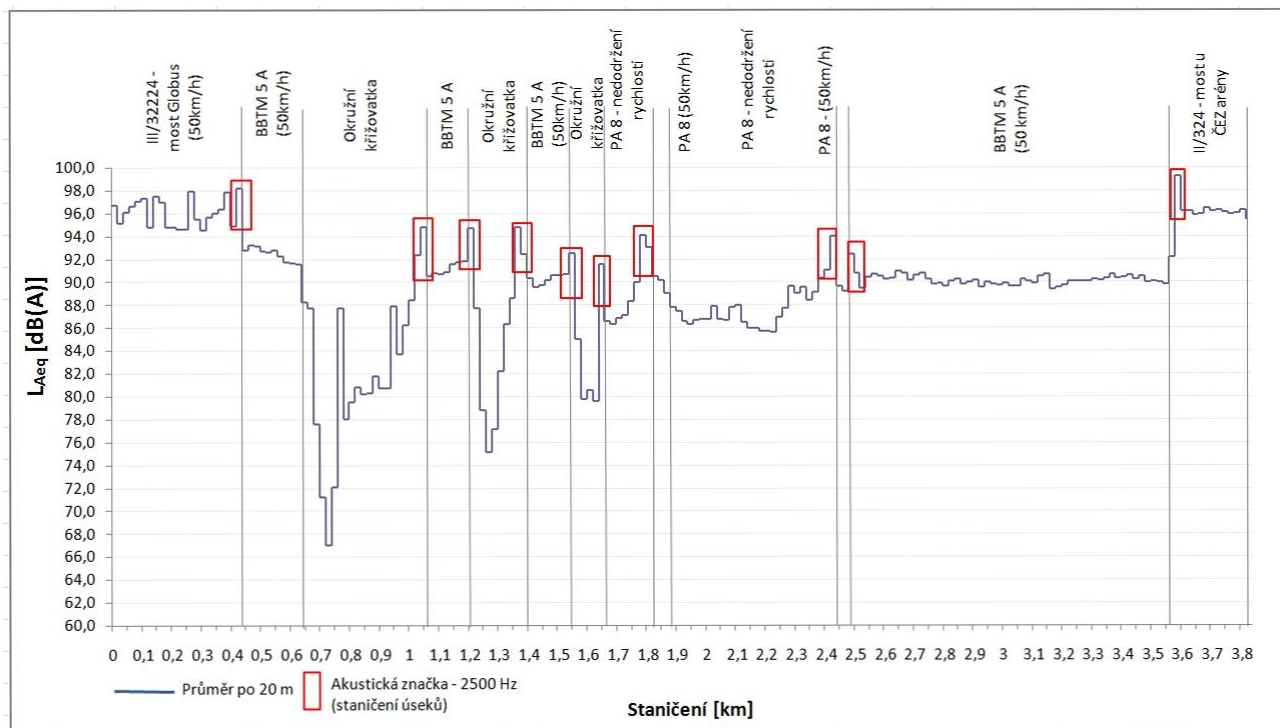


Obr. 8.14 : Graf z měření podélných nerovností povrchu vozovky – IRI [38]

Rovnost povrchu je na městské podmínky velmi dobrá, pro přejímku povrchu platí klasifikační stupeň 2 a v tomto stupni je jen několik 20metrových úseků. Horší výsledky se vyskytují jen na okružních křižovatkách, na kterých zařízení zaznamená změny příčných sklonů. (viz Obr. 8.14) [38]

Grafy z měření povrchových vlastností vozovek, které bylo prováděné nezávisle na měření hluk, doplňují o graf 8.8, který jsem vytvořil z výsledků měření ekvivalentní hladiny akustické tlaku L_{Aeq} .

Grafy z měření povrchových vlastností vozovek, které bylo prováděné nezávisle na měření hluk, doplňují o graf 8.8, který jsem vytvořil z výsledku měření ekvivalentní hladiny akustické tlaku. Jedná se o stejný typ grafu, kde je vyjádřena závislost hodnot osy „y“ na staničení, po 20 metrových segmentech.



Graf 8.8 : Závislosti ekvivalentní hladiny akustického tlaku na staničení po 20 m segmentech

Ideální případem by bylo, kdyby aparatura na měření hluku metodou CPX byla součástí multifunkčního vozidla VW Multivan, které je opatřeno zařízením Hawkeye 1000 pro měření povrchových vlastností. Tímto by bylo dosaženo větší efektivity měření a přesnějšího vyhodnocování hluku, protože vozidlo zaznamenává několik údajů zároveň (rychlost dle GPS, trasu, zeměpisnou polohu, vzdálenost, IRI, MPD, MTD) a provádí vizuální nahrávání na digitální kameru. Záznam ekvivalentní hladiny akustického tlaku L_{Aeq} by vhodně doplňoval univerzálnost měřicího vozidla a poskytoval téměř úplné informace o vlastnostech povrchu vozovky, jak z hlediska vizuálního, tak akustického.

Je ovšem nutné poznamenat, že vyhodnocování hladiny hluku po 20 m segmentech bude mít určitou nevýhodu na intravilánových komunikacích z důvodu členitosti měřeného úseku různými stavebními úpravami (křižovatky, přechody pro chodce) a také z důvodu neplynulosti městského dopravního proudu. Důsledky těchto omezení jsou patrné z grafu 8.8, kde se například podařilo jet na úseku s PA 8 CRmB rychlostí 50 km/h pouze v délce jen pár desítek metrů, a to z důvodu pomalu jedoucího vozidla před námi nebo z důvodu pohybu chodců přímo ve vozovce. Okružní křižovatky, které byly v měřeném úseku dokonce tři za sebou, také narušují plynulost měření.

V místech kruhových objezdů je hladina hluku, z důvodu zpomalení mnohdy až na 10 km/h, velmi nízká.

Naopak tento typ vyhodnocení (viz. Graf 8.8) bude dobře uplatnitelný na komunikacích v extravilánu, kde je zajištění požadované konstantní rychlosti v dostačující vzdálenosti daleko snadnější.



Obr. 8.15 : Pokládka PA 8 v místě křižovatky bez vyloučeného provozu trolejbusů [38]

8.2 Měření v kraji Zlínském – Zádveřice, Liptál, Fryšták

8.2.1 Zádveřice

8.2.1.1 Popis úseku

Další měření protihlukových vlastností povrchů vozovek probíhalo ve Zlínském kraji, konkrétně na úseku silnice I/49 mezi obcemi Lípa a Zádveřice s ročním průměrem denních intenzit 10846 vozidel za den. Protihluková úprava na tomto úseku byla realizována v říjnu a listopadu roku 2011. Úkolem bylo ověřit akustické vlastnosti pokusně realizovaného krytu vozovky z drenážního koberce PA 8 s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem (PA 8 CRmB běžně označovaným jako gumoasfalt) ve srovnání se sousedícími úpravami. Délka úseku s PA 8 CRmB je přibližně 230 m. Tento úsek se stal první frekventovanou silnicí I.třídy o návrhové rychlosti vyšší než 50 km/h, na němž byl tento asfaltový koberec položen a je pravidelně testován. Ve směru do Lípy navazuje na PA 8 CRmB úsek s obrusnou vrstvou z asfaltového betonu ACO 11, který končí na křižovatce I/49 s II/491. Z druhé strany (směrem na Vizovice) váže PA 8 CRmB na úsek z asfaltového koberce mastixového SMA 11, který končí před autobusovou zastávkou. Úsek je v nepatrném podélném sklonu se směrovými oblouky velkých poloměru. [44]

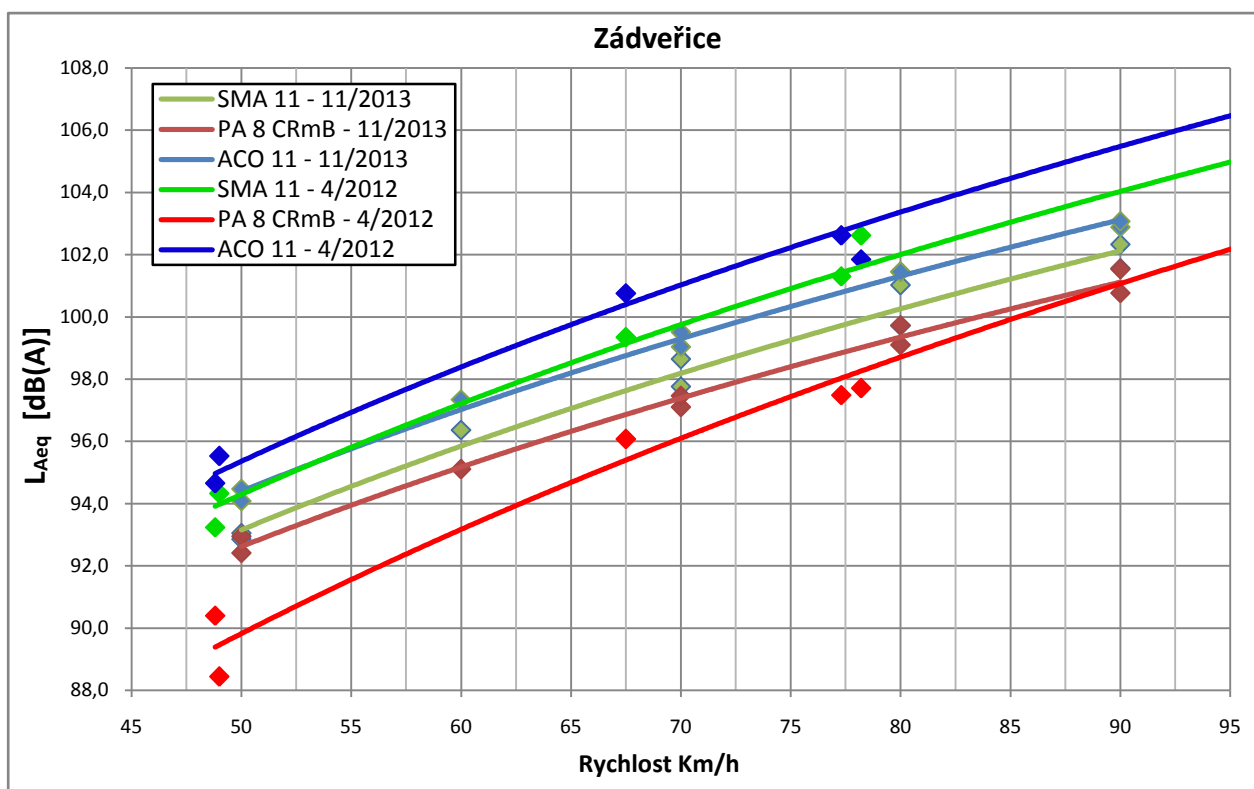


Obr. 8.16: Zájmové úseky na komunikaci I/49 u Zádveřic

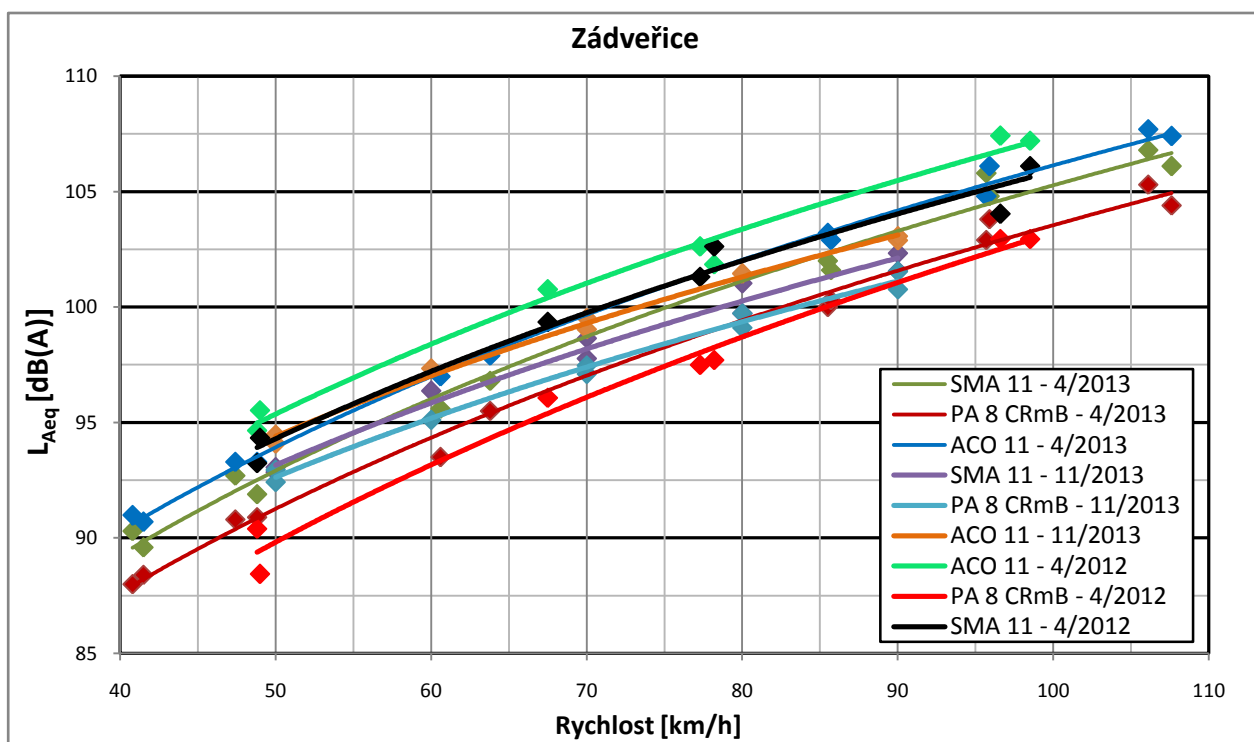


Obr. 8.17 : Pracovní spára mezi ACO 11 a PA 8 CRmB (vlevo), textura PA 8 CRmB (uprostřed), pracovní spára mezi PA 8 CRmB a SMA11 (vpravo)

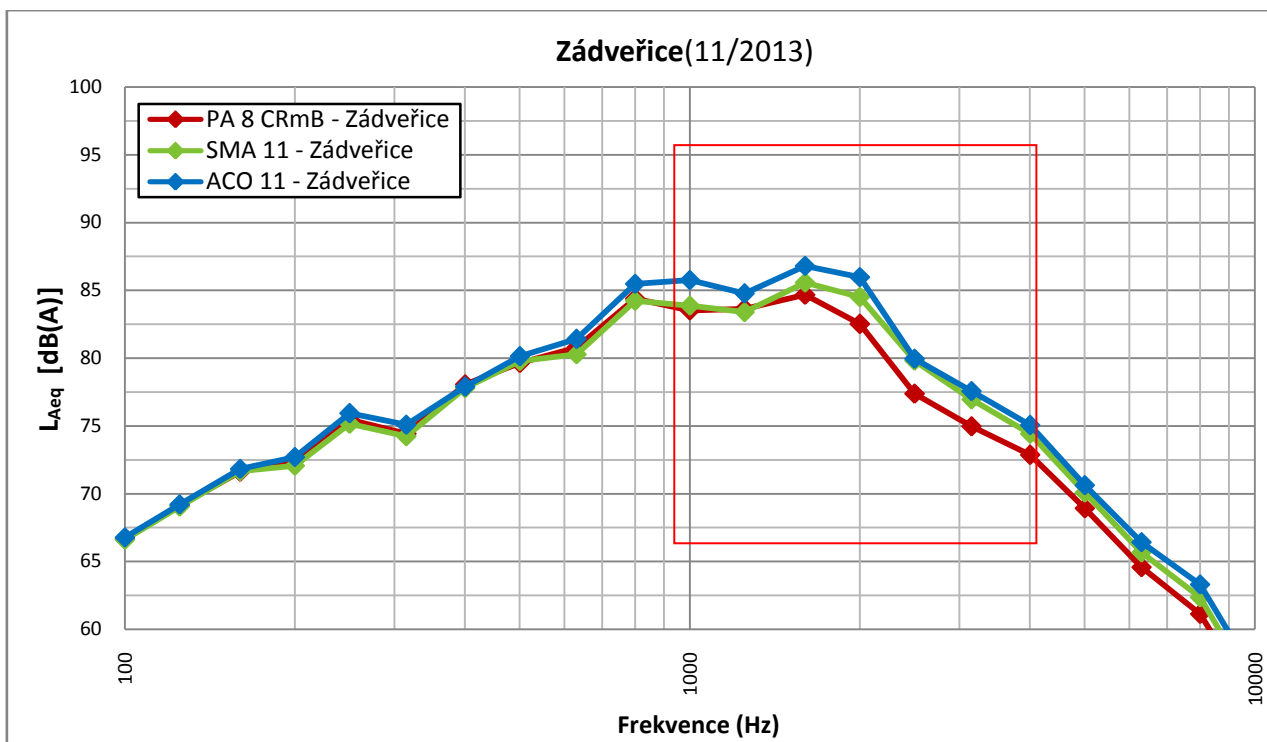
8.2.1.2 Vyhodnocení výsledků měření hluku



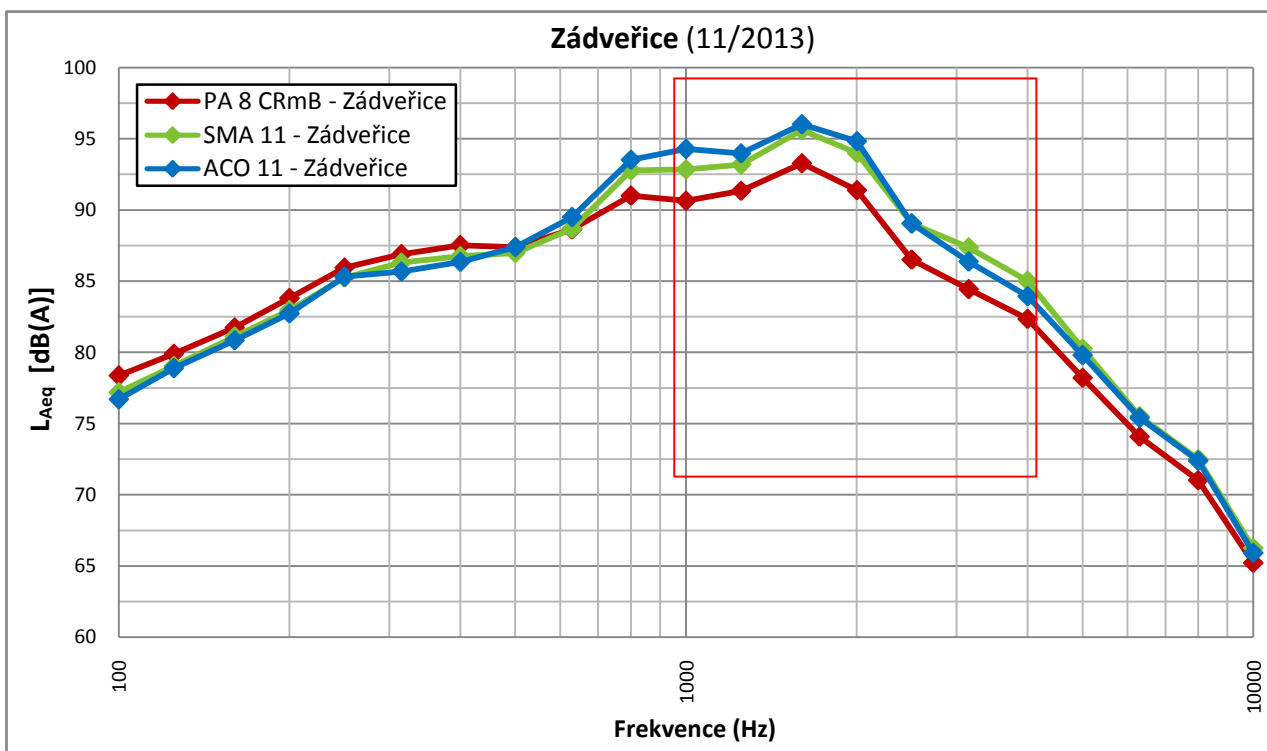
Graf 8.9 : Srovnání naměřených hodnot z 4/2012 a 11/2013



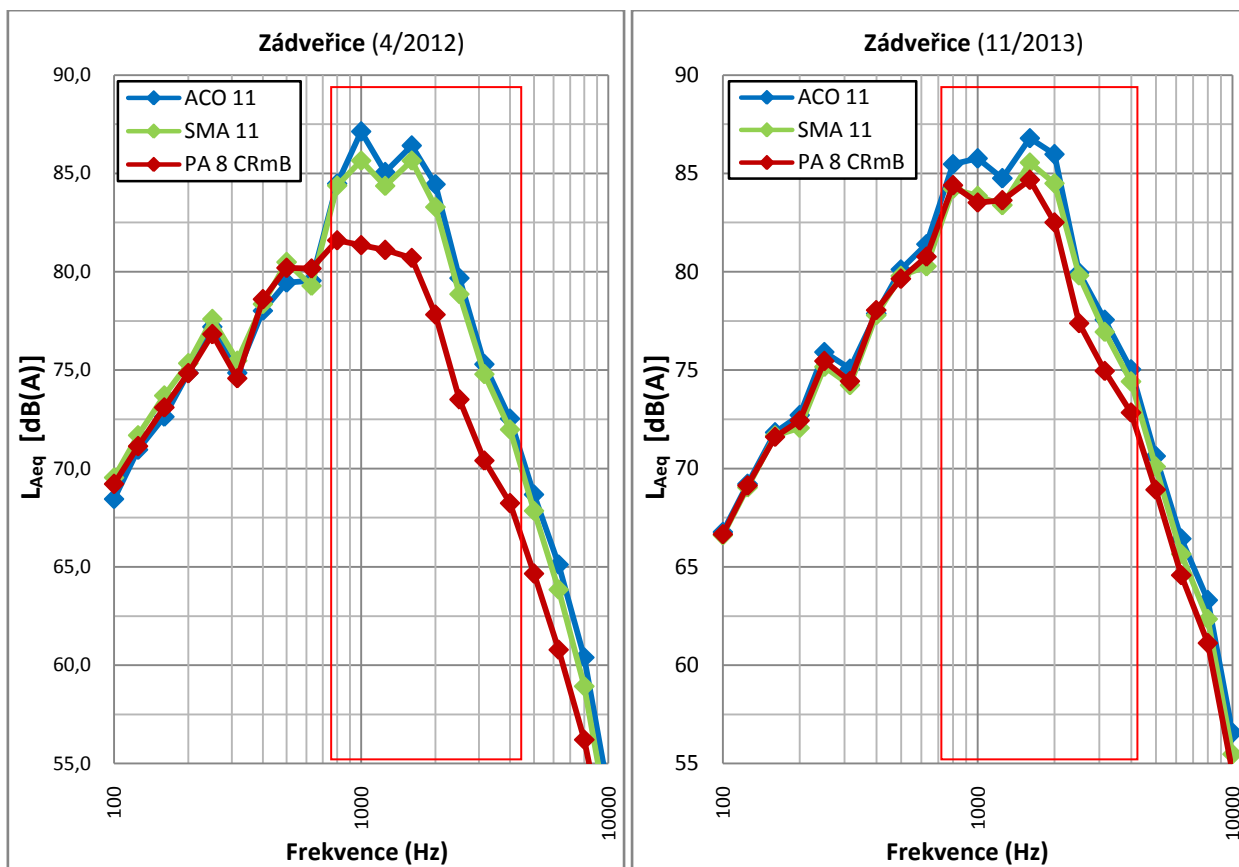
Graf 8.10 : Srovnání naměřených hodnot 4/2012, 4/2013 a 11/2013



Graf 8.11 : Závislost hladiny akustického tlaku na frekvenčních spektrech pro 50 km/h



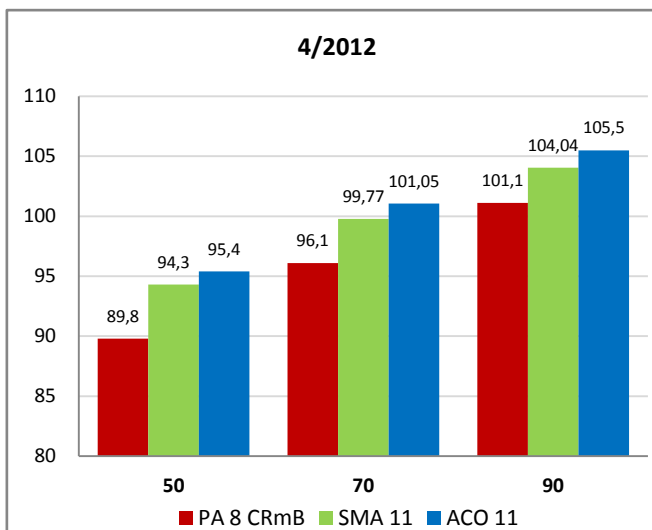
Graf 8.12 : Závislost hladiny akustického tlaku na frekvenčních spektrech pro 90 km/h



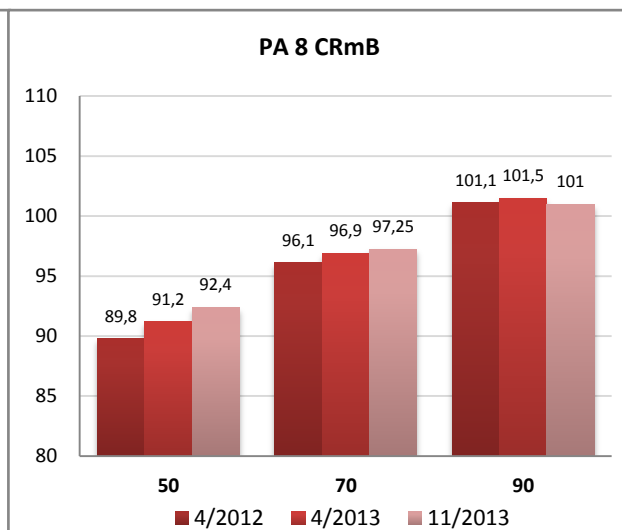
8.13 : Srovnání povrchů z roku 2012 a roku 2013 z hlediska frekvenčního spektra při rychlosti 50 km/h

Z grafu 8.13 je jednoznačně vidět zhoršení protihlukových vlastností asfaltového koberce drenážního PA 8 CRmB, a to za 1,5 roku provozu. K největšímu zhoršení došlo v rozmezí frekvencí 800 až 4000 Hz. Z čehož může usoudit, že příčinou zhoršení protihlukových vlastností je zanášení pórů povrchu, jejichž protihlukový účinek nastupuje právě až ve vyšších frekvencích, přibližně od 1000 Hz.

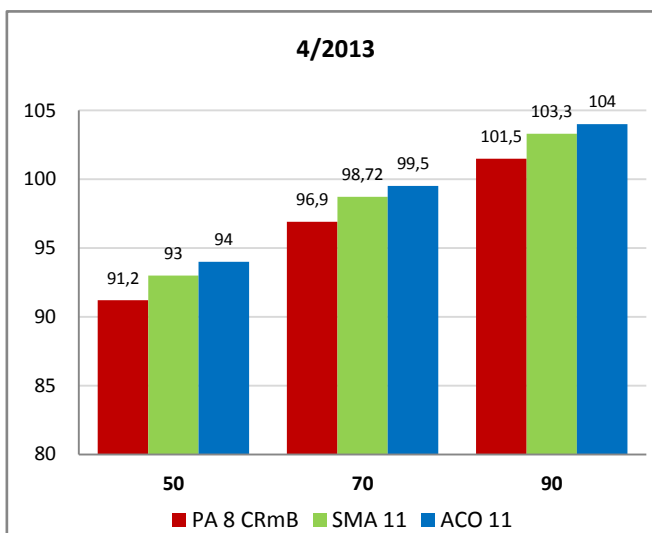
V grafech níže pak můžeme vidět rozdíly mezi jednotlivými povrchy od roku 2012 až do konce roku 2013, dále pak také srovnání naměřených hodnot určité směsi pro jednotlivé rychlosti v závislosti na datech jejich měření.



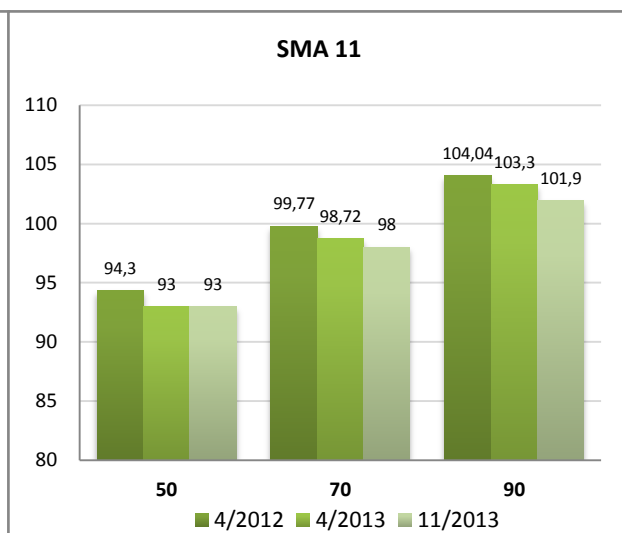
Graf 8.16 : Srovnání naměřených hodnot v dubnu 2012



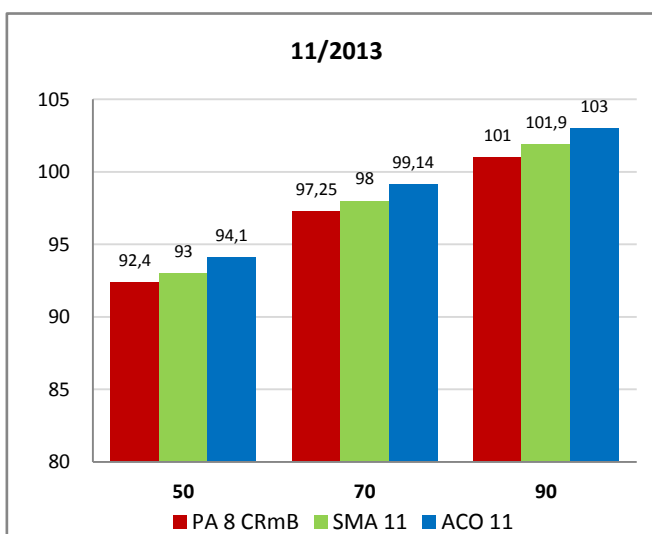
Graf 8.17 : Srovnání naměřených hodnot pro PA 8 CRmB



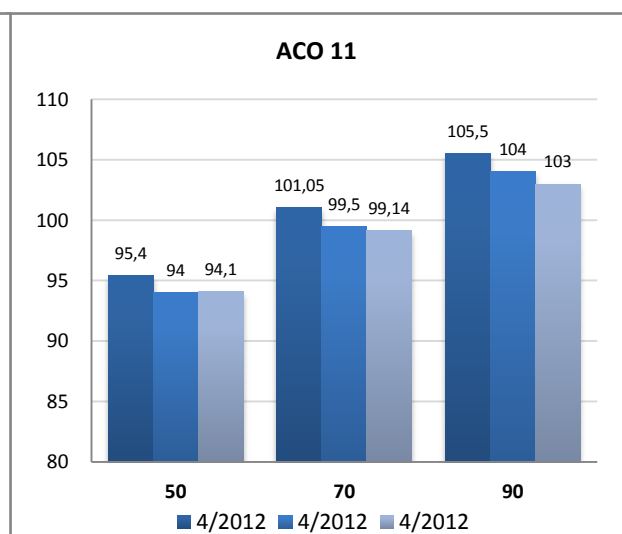
Graf 8.18 : Srovnání naměřených hodnot v dubnu 2013



Graf 8.19 : Srovnání naměřených hodnot pro SMA 11



Graf 8.15 : Srovnání naměřených hodnot v listopadu 2013



Graf 8.14 : Srovnání naměřených hodnot pro ACO 11

8.2.1.3 Shrnutí a závěr

Měření hlučností povrchů probíhalo opět metodou CPX při různých rychlostech. Byla snaha začínat na rychlosti 50 km/h se zvyšováním o 10 km/h až po rychlost 90 km/h v případě, kdy to dovozoval provoz. Ve výše uvedeném grafu je zobrazeno srovnání naměřených hodnot z roku 4/2012 a z konce roku 2013. Je vidět, že od data 1. měření (4/2012) došlo k zhoršení protihlukových vlastností drenážního koberce PA 8 CRmB, a to, jak je patrné z grafu 8.9, o 2,6 dB při 50 km/h až po 0,1 dB při rychlosti 90 km/h. Pravděpodobnou příčinou toho zhoršení je klasické zanesení póru drenážního koberce nečistotami. Na druhou stranu u SMA 11 a ACO 11 se protihlukové vlastnosti zlepšily. U SMA 11 jde o zlepšení v rozsahu 1,3 dB při 50 km/h až 2,1 dB při 90 km/h a u ACO 11 v rozmezí 1,3 dB při 50 km/h až 2,5 dB při 90 km/h. K tomuto zlepšení protihlukových vlastností pravděpodobně došlo ohlazením povrchu kameniva a zatlačení zrn kameniva do, což s sebou zároveň nese zhoršení protismykových vlastností, které může mít kritický vliv na bezpečnost silničního provozu.

Další graf (Graf 8.10) znázorňuje všechna měření na tomto úseku, prováděná v dubnu 2012, dubnu a listopadu 2013. Při větším soustředění lze z grafu vyčíst, že i za 7 měsíců, od 4/2013 do 11/2013 došlo k již výše zmíněnému zhoršení protihlukových vlastností u PA 8 CRmB a ke zlepšení u SMA 11 a ACO 11. Přičemž u PA 8 CRmB došlo ke zhoršení o 1,2 dB při 50 km/h, které se ovšem se zvyšující rychlostí postupně vytrácelo. ACO 11 z 11/2013 v porovnání s ACO 11 z 4/2013 má do rychlosti 60 km/h totožný průběh, ovšem po 60 km/h se jeho hlučnost snižuje a při 90 km/h je o celý 1 dB nižší. Naprosto stejný je také průběh křivek SMA 11.

Pro měřené úseky byly také zpracovány další, z hlediska přijímání hluku lidským uchem, velmi důležité spektrální grafy (graf 8.11, graf 8.12), ve kterých je hladina akustického tlaku vyjádřena v závislosti na frekvenci. Z těchto grafů je patrné, že asfaltový koberec drenážní PA 8 CRmB při 50 a 90 km/h vykazuje v oblasti nejvyšší citlivosti ucha (1000 - 4000 Hz) hlučnost až o 2,5 dB nižší než asfaltový koberec mastixový SMA 11. Tudiž na rozdíl od grafů se závislostí na rychlosti, kde rozdíl mezi PA 8 CRmB a SMA 11 činí pouze 1 dB, jsou spektrální grafy, z hlediska působení na člověka, více vypovídající.

Závěrem tedy můžeme říci, že protihlukové vlastnosti při rychlostech do 90 km/h PA 8 CRmB se v čase zhoršují, ale i přesto, v nejcitlivější oblasti našeho sluchu, podávají oproti jiným povrchům velmi uspokojivé výsledky. Zajímavým výsledkem je, že u všech třech měření při 90 km/h rychlosti byly hodnoty PA 8 CRmB téměř stejné (viz graf 8.17). Vzhledem k tomu, že náš úsek leží na komunikaci s dovolenou rychlostí 90 km/h, je tady jeho přínos, z hlediska snížení hladiny hluku nepochybný.

8.2.2 Liptál

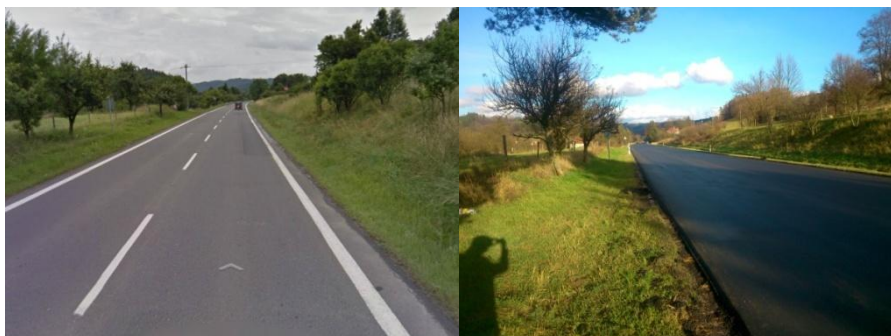
8.2.2.1 Popis úseku

Jde o úsek silnice I. třídy ve Zlínském kraji mezi Liptálem a Lhotou u Vsetína, který byl letos na přelomu října a listopadu pokryt asfaltovým betonem pro velmi tenké vrstvy značeným jako BBTM 5A CRmB. Jeho délka je cca 3,2 km a má prokázat vyšší odolnost asfaltové směsi s CRmB v porovnání s běžným silničním asfaltem. Dalším jeho úkolem je snížení hladiny silničního hluku, kterou zde vytváří průjezd až 7000 vozidel za den. V úseku Liptál –



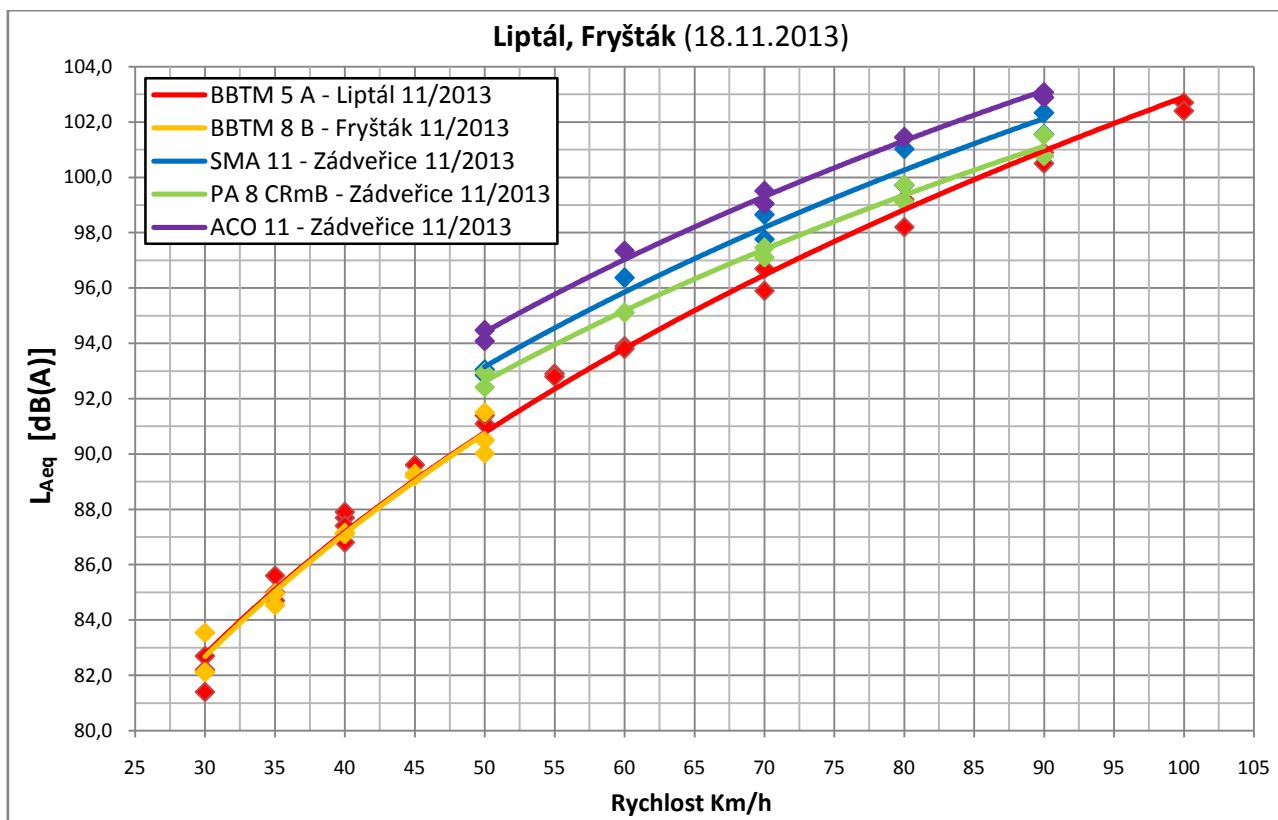
Obr. 8.18 Úsek z BBTM 5 A mezi Liptálem a Lhotou u Vsetína na komunikaci I/69

Lhoty u Vsetína původní vozovka neodolala účinku vysokého dopravního zatížení. Na mnoha místech se vyskytovaly vážné konstrukční poruchy. Sít'ové trhliny v asfaltových vrstvách a příčné trhliny účinkem mrazu. Proto zde byla navržena oprava pomocí asfaltových vrstev s CRmB. Spodní vrstva byla položena po vyfrézování vrstev porušených sít'ovými trhlínami v tloušťce 60 mm, což se týkalo 10 % plochy úseku. Další gumosfaltová vrstva překryla ostatní trhliny a měla by omezit prokopírování trhlín na povrch vozovky. Poslední obrusná vrstva má navíc protihlukový účinek vhodný zejména pro místní komunikace. Tloušťka každé z těchto dvou vrstev je 30 mm. Celkem tedy bylo položeno jen 60 mm gumoasfaltové směsi. U klasických směsí, jako je asfaltový beton, to obvykle bývá vrstva silná až 100 mm. Šířka komunikace v tomto úseku odpovídá návrhové kategorii S9,5/80. Trasa je bez významných směrových oblouků, tudíž se na tomto úseku komunikace jezdí rychleji a právě při vyšších rychlostech (nad 40 km/h) je nejvýznamnějším zdrojem hluku interakce na kontaktní ploše pneumatika/vozovka (valivý hluk) a právě tady by měl hrát důležitou roli asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy s CRmB (BBTM 5A). [40]

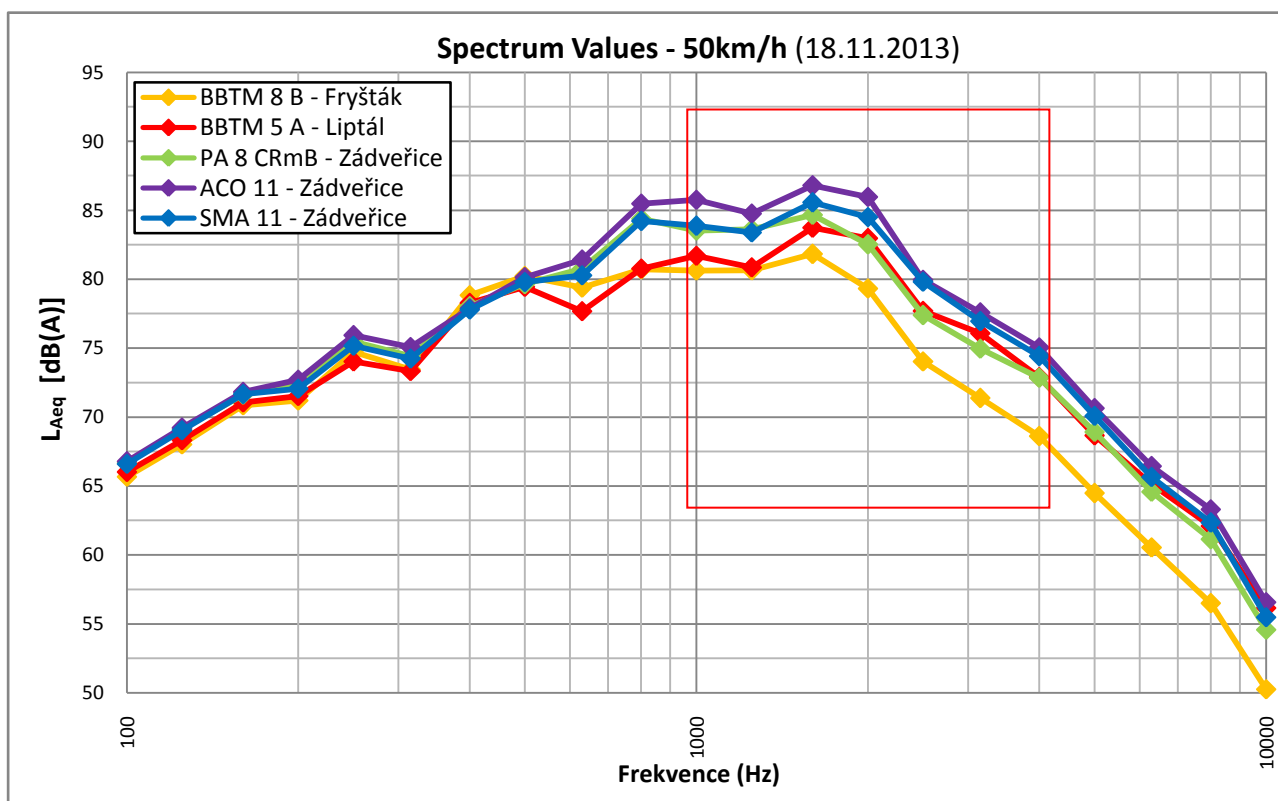


Obr. 8.19 : Původní povrch vozovky (vlevo) a nová vrstva z BBTM 5 A (vpravo)

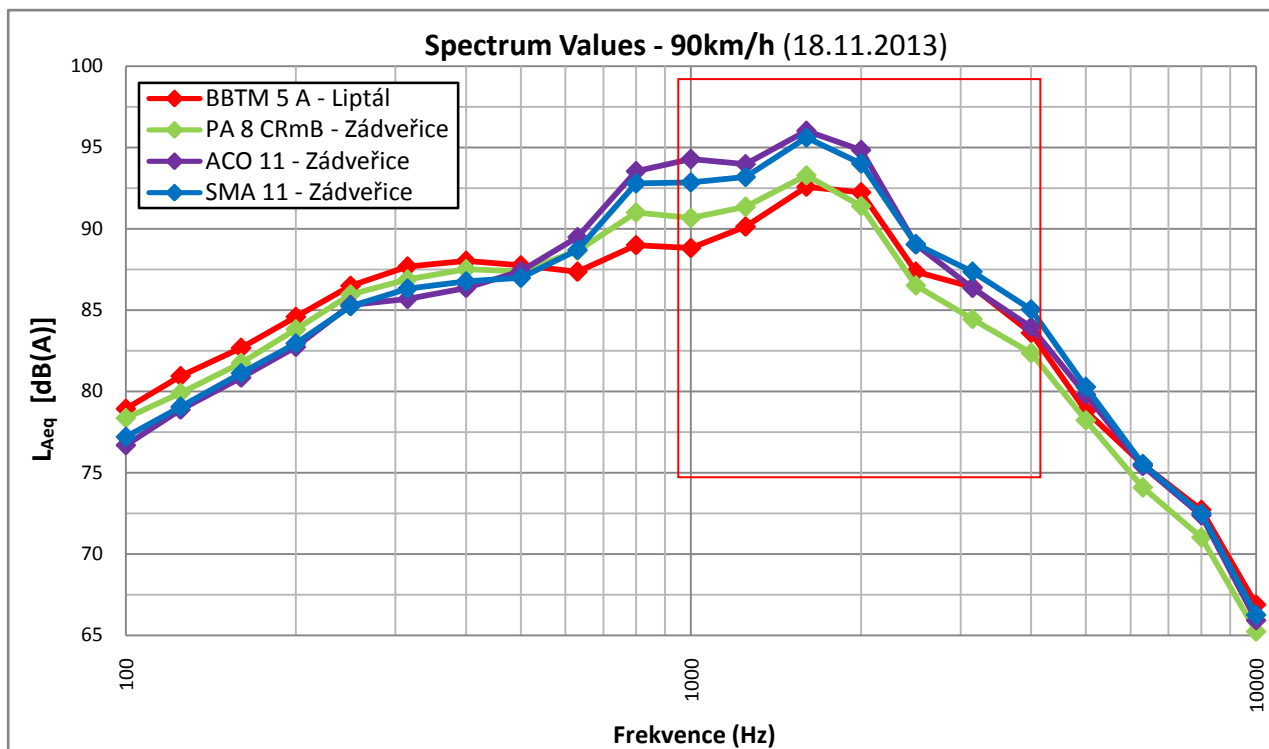
8.2.2.2 Vyhodnocení výsledků měření hluku



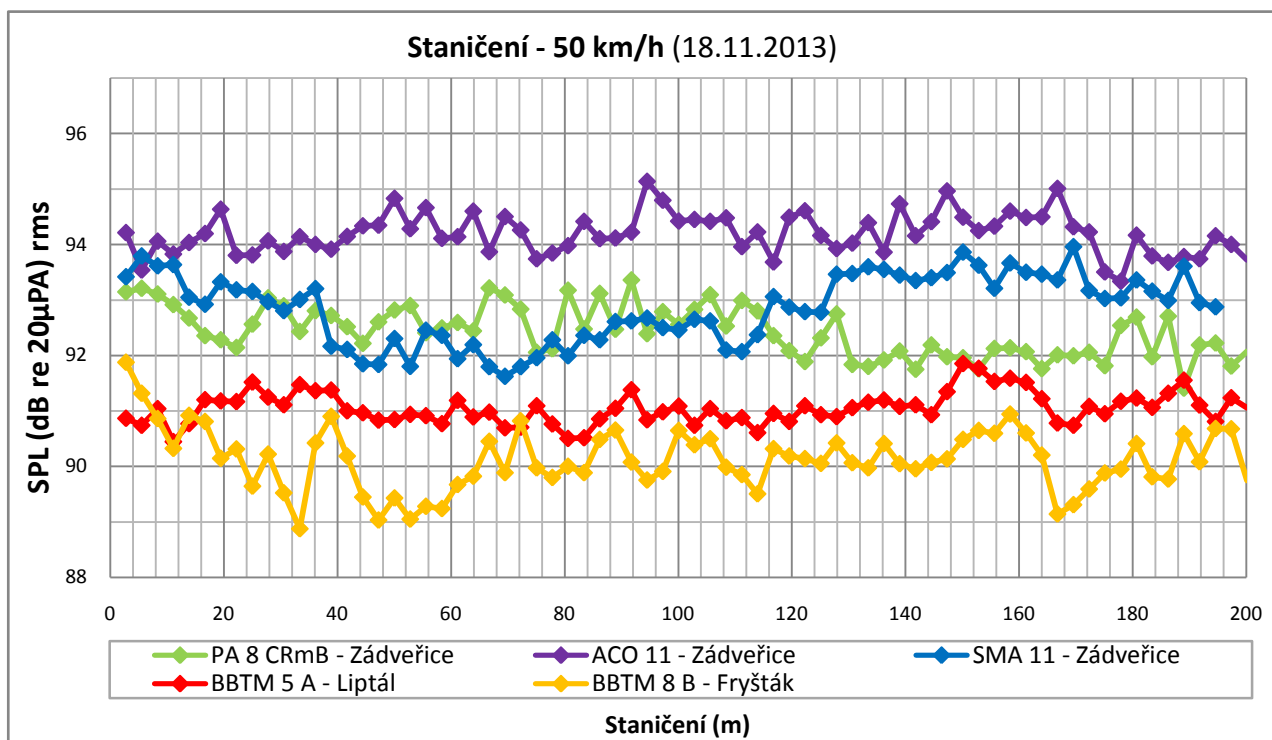
Graf 8.20 : Porovnání měření ze Zádveřic, Liptálu a Fryštáku



Graf 8.21 : Závislost hladiny hluku na frekvenčních spektrech u povrchů ze Zádveřic, Liptálu a Fryštáku (50 km/h)



Graf 8.23 : Závislost hladiny hluku na frekvenčních spektrech u povrchů ze Zádveřic a Liptálu (90 km/h)



Graf 8.22 : Srovnání hladin hluku ze Zádveřic, Liptálu a Fryštáku v závislosti na staničení (50km/h)

8.2.2.3 Závěr

Závěrem lze říci, že z měření uskutečněné 18. listopadu 2013 na úseku mezi Liptálem a Lhotou u Vsetína, kde je položena vrstva BBTM 5A vyplývá, že bude dosaženo snížení hladiny hluku oproti starému povrchu minimálně o 3 dB. Na rozdíl od drahých protihlukových stěn, které zde mohli být postaveny, dochází k redukci hluku již v těsné blízkosti jeho zdroje, což je nejefektivnější způsob jak dosáhnout co nejpříjemnějších výsledků. Přičemž právě snížení silničního hluku o 3 dB znamená, jako by došlo ke snížení intenzity dopravy na polovinu. Výsledkem tedy je ušetření finančních prostředků, které by byly vydány na protihlukové stěny, či jiná stavebně - technická protihluková opatření a také na opravu stávající komunikace, to vše při zvýšení odolnosti vozovky proti stárnutí, trvalým deformacím, mrazovým trhlinám a při zachování velmi dobrých protismykových vlastností.



Obr. 8.20 : Povrch komunikace s BBTM 5 A

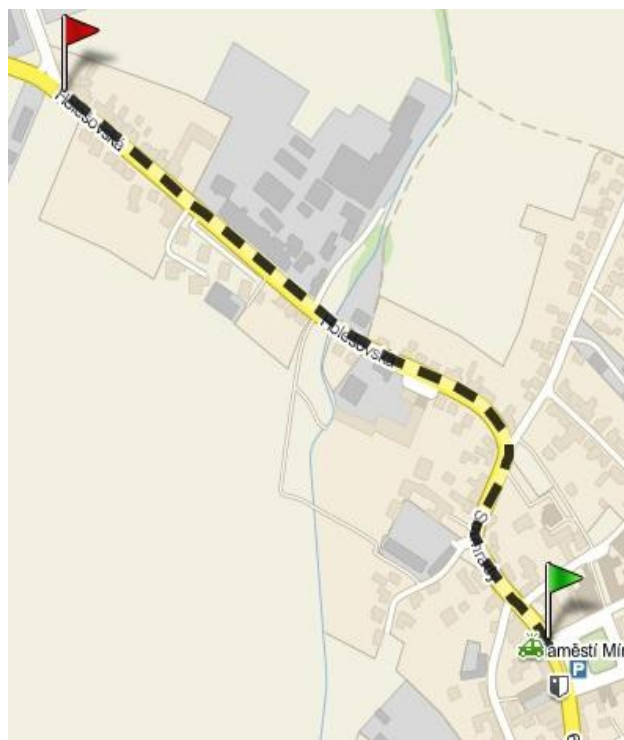


Obr. 8.21 : Vrstva BBTM 5 A u Liptálu

8.2.3 Fryšták

8.2.3.1 Popis úseku

Další měřený úsek spadající do Zlínského kraje je úsek komunikace II/490 v průjezdním úseku města Fryšták v celkové délce cca 1000 m a to od začátku města ve směru od Holešova po začátek náměstí ve středu města. Roční průměr intenzit od 6 hod do 18 hod je 5751 vozidel za den, od 18 hod do 22 hod je 882 vozidel za den a v nočních hodinách je to 543 vozidel za den. Jednotná šířka vozovky mezi obrubami je 7 metrů. Původní neúnosná vozovka byla zrekonstruována kompletní výměnou konstrukce. Z důvodu požadavku na snížení silničního hluku byla jako nová obrusná vrstva,



Obr. 8.22 : Nově položený úsek z BBTM 8 B v městě Fryšták

namísto původního asfaltového betonu, použita 30 mm silná vrstva z asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem (BBTM 8 B). Před realizací byl vysloven předpoklad na snížení hlučnosti o 2 až 3 dB. Nevýhodou toho úseku z hlediska měření metodou CPX je jeho výškové řešení s větším podélným sklonem nivelety. I přesto, jsme daný úsek projížděli postupně od rychlosti 30 km/h s postupným navyšováním po 5 km/h až po rychlost 50 km/h. Pro každou rychlost se nám podařily udělat minimálně dva pojezdy. Tímto jsme získali dostatečné množství hodnot pro vyhodnocení hlučnosti krytu. Při jízdě z kopce jsme museli vozidlo brzdit motorem, aby nedocházelo ke zkreslení měření hlukem od brzdné soustavy. Jedinou nevýhodou byla nemožnost projíždět úsek rychlostmi vyššími, než byla maximální dovolená rychlost. Nedovoloval to jak zákon, tak dopravní řešení a situace. Pokud bychom tyto hodnoty získali, porovnali bychom je s hodnotami BBTM 5 A získané na úseku u Liptálu, kde probíhalo měření ve stejný den.



Obr. 8.23 : Podélný profil měřeného úseku



Obr. 8.24 : Původní kryt vozovky z AC (vlevo), nová konstrukce vozovky z BBTM 8 B (vpravo)

8.2.3.2 Vyhodnocení výsledků měření hluku

Výsledky měření jsou patrné z grafů výše (Graf 8.20, 8.21, 8.22 a 8.23) ve kterých je zobrazeno společné vyhodnocení naměřených hodnot z úseku mezi Liptálem a Lhotou u Vsetína a městem Fryšták v porovnání s jednotlivými povrch z úseku na silnici I/49 mezi Lipou a Zádveřicemi.

8.2.3.3 Shrnutí a závěr

Jak již bylo napsáno v úvodu, rekonstrukce vozovky byla jistě nezbytná, při níž město Fryšták dostalo díky obrusné vrstvě BBTM 8 B nový a tišší vzhled. Hladina akustického tlaku, kterou se podařilo touto vrstvou redukovat, je o 2 dB nižší, než hlučnost referenčního povrchu z asfaltového koberce mastixového SMA 11. Tudiž můžeme říci, že předpoklady snížení hluku o 2 až 3 dB byly naprosto správné. Při nahlédnutí do grafu se závislostí mezi hladinou hluku a frekvencí se snížení hlučnosti v nejcitlivějším frekvenčním pásmu pro lidské ucho (1000 - 4000 Hz) pohybuje v rozmezí dokonce o 3 až 5 dB (při 50 km/h) níže oproti referenčnímu povrchu SMA 11. Měření hlučnosti probíhalo opět pomocí metody CPX (close proximity method), kdy je hluk obrusné vrstvy měřen v bezprostřední blízkosti stykové plochy pneumatika/vozovka. Ovšem když se podíváme na směrové i výškové vedení úseku s přihlédnutím k tomu, že je komunikace v obci, je nutné si položit otázku, zdali má v tomto úseku protihlukové vrstva smysl, nýbrž v nízkých rychlostech do 40 km/h je primárním zdrojem automobilového hluku hnací ústrojí vozidla. V místech směrových obloků jen

málokdo jede více jak již zmíněných 40 km/h a následující přímá má zase značný podélný sklon, tudíž zde opět hlavní roli při emisi hluku hrají vyšší otáčky motoru vozidla. Když to shrnu, hluk vznikající od odvalování se pneumatiky bude sice nižší, ale bude přehlučen zvukem motoru. Celkovou hladinu hluku, která se šíří od všech zdrojů projíždějícího vozidla, by bylo možné ověřit měřením pomocí metody SPB (statistical pass-by method). Ovšem tady si dovoluji tvrdit, že v tomto úseku by byla metoda SPB zcela zbytečná, protože intravilán není vhodné místo pro umístění statického mikrofону, a to z důvodu velkého množství odrazových ploch, díky kterým by mohlo docházet k velkému zkreslení naměřených hodnot.

Zcela jistě nesporným přínosem pro město Fryšták jsou výborné fyzikálně - mechanické vlastnosti směsi BBTM 8 B zajišťující delší životnost pozemní komunikace.

8.3 Měření v kraji Jihomoravském – město Brno, Česká

8.3.1 Brno Veslařská

8.3.1.1 Popis úseku

V Brně naše měření probíhalo na ulici Veslařská poblíž Vozovny Komín. Zájmový úsek je dlouhý 400 m a jen na něm položena obrusná vrstva z asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy BBTM 5 A. Realizace tohoto povrchu vozovky byla dokončena v létě 2012. Směrem do Jundrova na gumoasfaltový úsek navazuje stará komunikace z asfaltového betonu ACO 16. Opačným směrem od Vozovny Komín se na měřený úsek připojuje stará vozovky z asfaltového betonu ACO 11. Měření jsme neukončovali hned za zájmovým BBTM, ale měřili jsme také oba přilehlé úseky z ACO, abychom zjištěné výsledky mohli vzájemně porovnat a poté vyčíslit rozdíly snížení hluku.

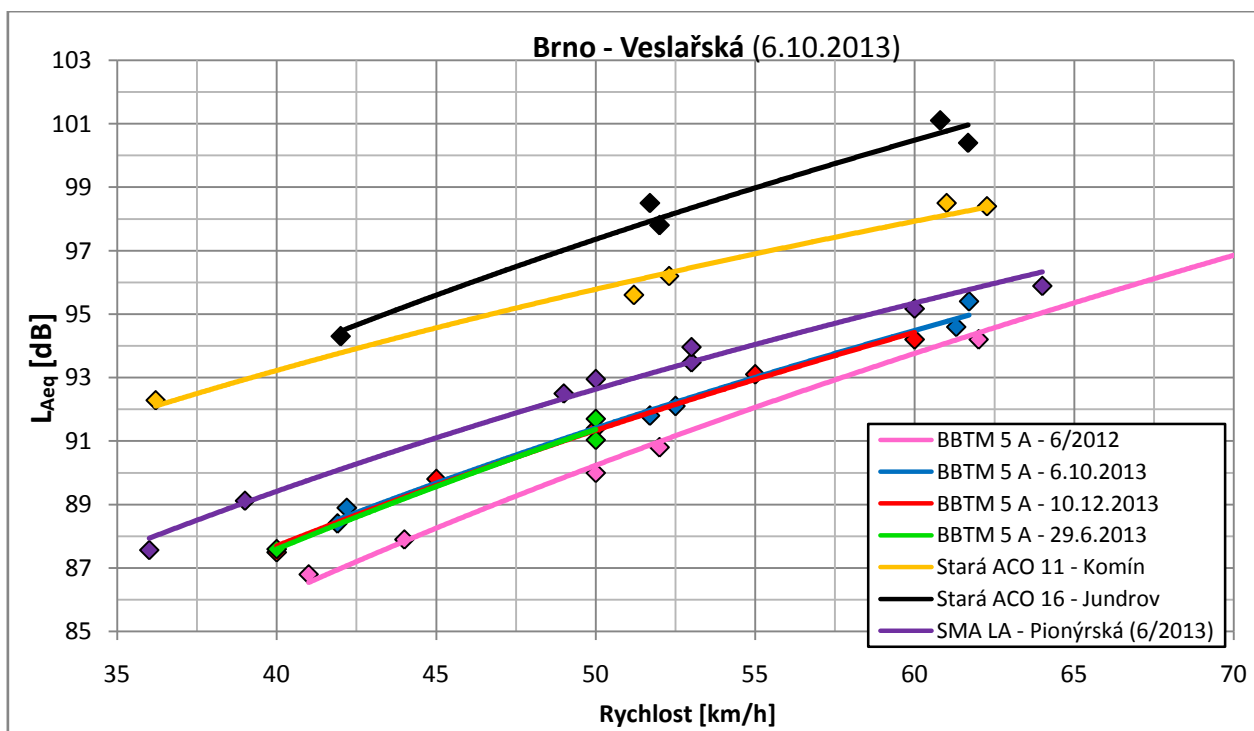


Obr. 8.25 : Vyznačení měřených úseků na ulici Veslařská v Brně

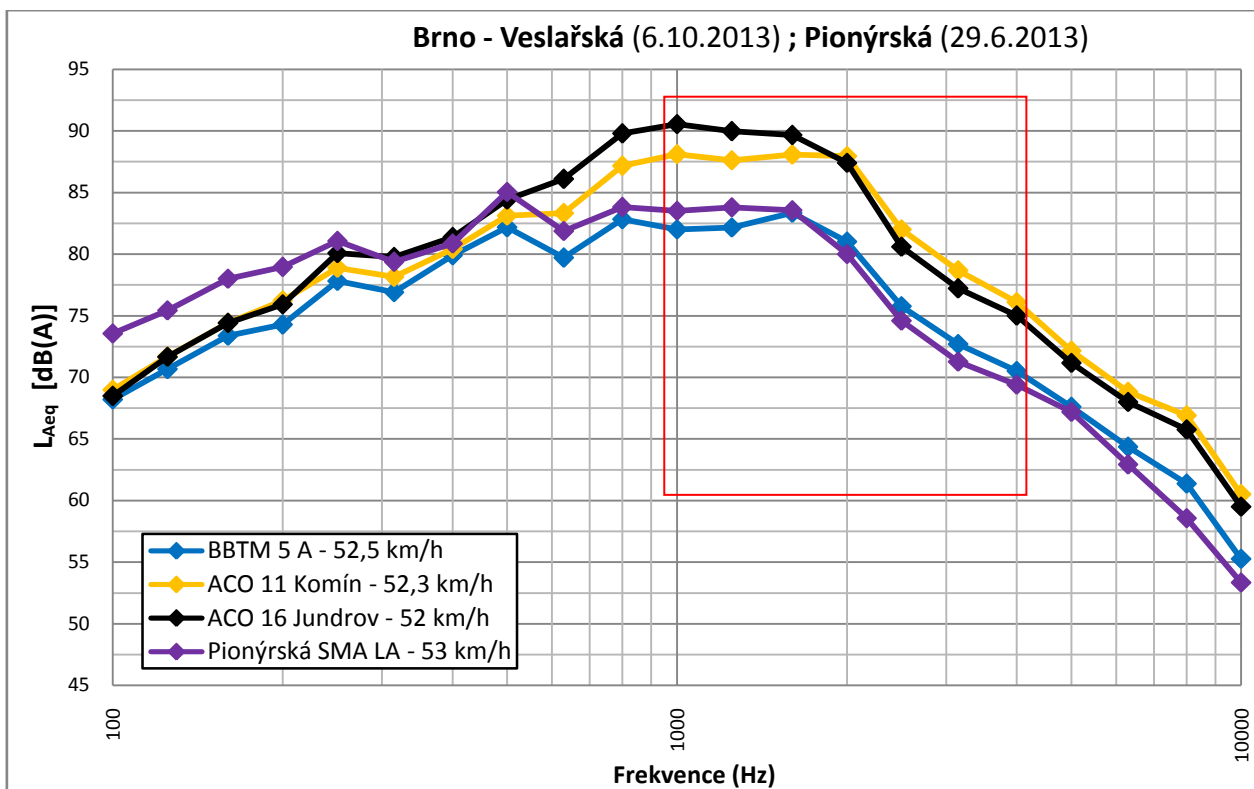


Obr. 8.27 : Původní ACO 16 (dole), nový povrch z BBTM 5 A (nahore)
Obr. 8.26 : Letecký snímek úseku z BBTM 5 A

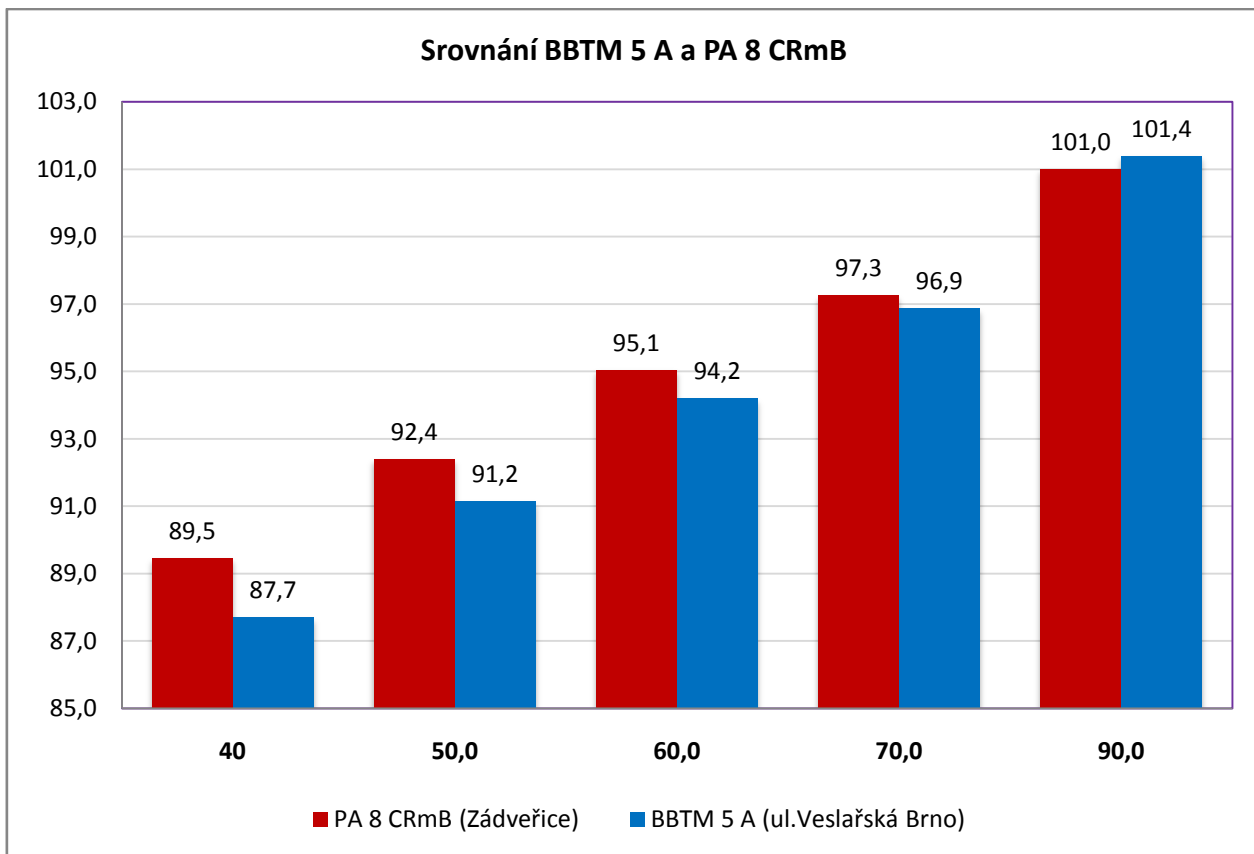
8.3.1.2 Vyhodnocení výsledků měření hluku



Graf 8.24 : Porovnání ekvivalentních hladin akustického tlaku jednotlivých povrchů na ulici Veslařská a Pionýrská v Brně



Graf 8.25 : Hladina akustického tlaku v závislosti na frekvenčních spektrech (při cca 50km/h)



Graf 8.26 : Srovnání nízkohlučných povrchů PA 8 CRmB a BBTM 5 A

8.3.1.3 Shrnutí a závěr

V polovině roku 2012 bylo provedeno první měření hluku na nově položené vrstvě BBTM 5 A CRmB na ulici Veslařská. Tehdy naměřené hodnoty hladiny akustického tlaku ukázaly, že na hranici dovolené rychlosti (50km/h) odpovídala hlučnost 90 dB. V roce 2013 jsme se v rámci diplomové práce vydali na úsek BBTM 5 A CRmB na ulici Veslařská znovu, abychom ověřili hlučnost povrchu po jednom roku provozu. Postupně jsme provedli tři měření, 29.6.2013, 6.10.2013 a 10.12.2013. Všechny tři měření nám pro dané rychlosti ukázaly téměř totožné hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku. To ovšem zároveň ukazovalo, že oproti měření z roku 2012 došlo ke zhoršení protihlukových vlastností o 0,5 až 1,3 dB v rozsahu měřených rychlostí. Z hlediska srovnání s přilehlými povrchy z asfaltového betonu (ACO 11 a ACO 16) můžeme dokázat, že došlo k významnému snížení hlučnosti. Gumoasfaltová (BBTM 5 A CRmB) vrstva je při průjezdu vozidla při 40 km/h o 5,8 dB tišší v porovnání s ACO 11 položeným na vozovce u Vozovny Komín a o 6,3 dB oproti starému ACO 16 v Jundrově. Při 50 km/h se rozdíl oproti ACO 11 mírně snižuje, rozdíl činí 4,3 dB, ACO 16 si stále zachovává rozdíl kolem 6 dB. V rychlosti 60 km/h má ACO 11 stále stejnou tendenci a vůči BBTM činí rozdíl už „pouze“ 3,5 dB a i ACO 16 má stále stejný průběh s rozdílem stále 6 dB oproti BBTM. Pro srovnání jsou v grafu také uvedeny výsledky z měření na ulici Pionýrská, kde je položen protihlukový asfaltový koberec mastixový značený SMA LA. I oproti tomuto povrch má BBTM 5 A lepší protihlukové vlastnosti. Při 40 km/h činí rozdíl 2 dB a při rychlosti 50 a 60 km/h je hluk nižší o 1 dB. Z výsledků, které jsme naměřili a které jsme následně vyhodnotili, je bezesporu patrný přínos protihlukových krytů vozovek jako je BBTM. I pouze ten nejmenší rozdíl vůči ACO 11 (3,5dB) odpovídá snížení hluku přibližně o 55%. Pro někoho jsou tyto fakta pouze čísla a grafy, ale z vlastní zkušenosti mohu říci (3 za týden tudy chodím), že povrch z gumoasfaltu na tomto úseku ulice Veslařská je pro okolní obyvatele opravdu znatelně tišší. Toto tvrzení je patrné také z grafu 7.25, ve kterém je vyznačena závislost hladiny akustického tlaku na frekvenci, v rozmezí 1000 až 4000 Hz je hluk oproti starým asfaltobetonovým krytům až o 7 dB více redukován.

Závěrem bych doporučil navázat na pracovní spáru, končící před mostem přes řeku Svratku, a protáhnout BBTM 5 A celou délkou městské části Jundrov, a to až po zastávku hromadné dopravy Jundrov - hřiště. Z důvodu četné zástavby podél komunikace, by toto řešení mělo zcela jistě velký přínos pro místní obyvatele. Na základě výsledků měření jsme dokázali, že by došlo k redukcí hluku minimálně o 55%. V další etapě bych pokračoval s vrstvou BBTM až ke hranici křižovatky s ulicí Pisárecká.

8.3.2 Brno Úvoz

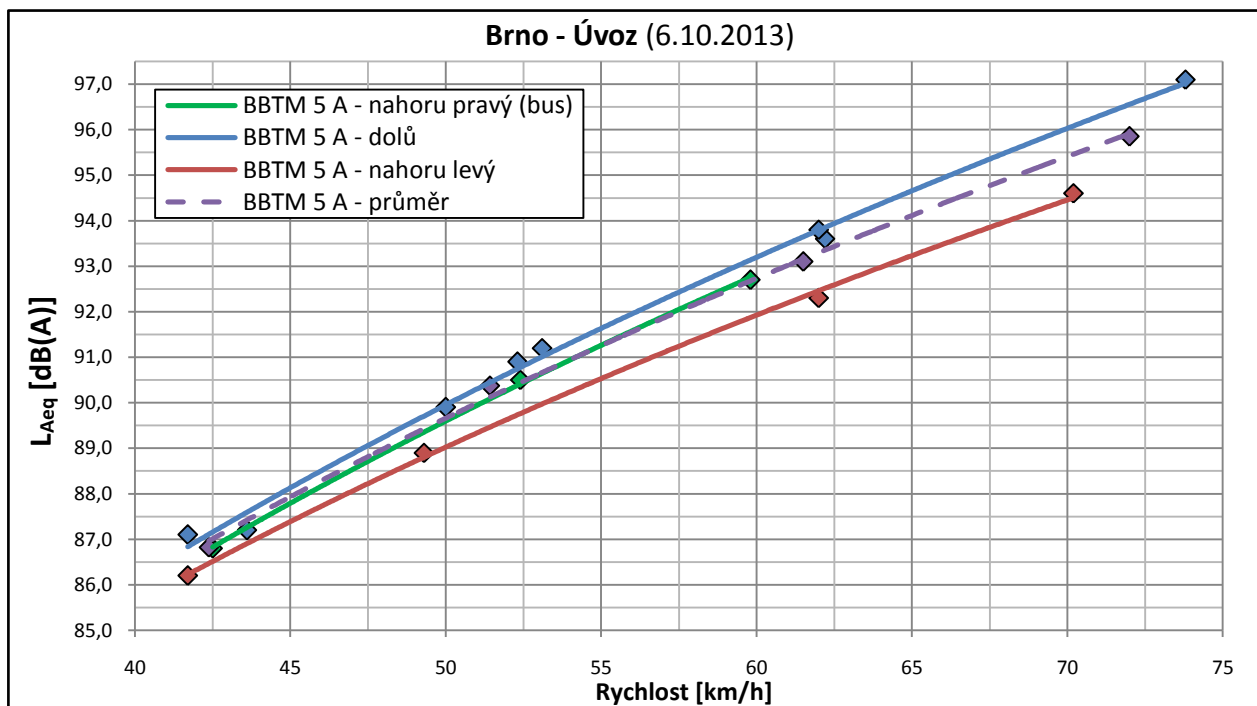
8.3.2.1 Popis úseku

Na podzim roku 2013 byla na ulici Úvoz dokončena realizace obrusné vrstvy vozovky z asfaltového betonu s CRmB, značeného jako BBTM 5A. Celková délka měřeného úseku je přibližně 620 m. Nevýhodou toho úseku pro měření metodou CPX je jeho podélný sklon, který činí cca 7,5 %. Úsek začíná u křižovatky ulice Úvoz s ulicí Tvrdého a pokračuje značným klesáním až ke křižovatce ulic Úvoz a Pekařská. Úvoz je jedna z nejvytíženějších ulic v městě Brně a je lemována početnou zástavbou. Tudiž i zde nachází protihluková úprava povrchu vozovky své opodstatnění. Problém z hlediska vznikajícího hluku nastává v momentě projíždění starého kloubového autobusu, jehož spalovací motor vydává při jízdě do kopce nepřeslechnutelný hluk, který nemá nic společného s hlučností samotného krytu vozovky.

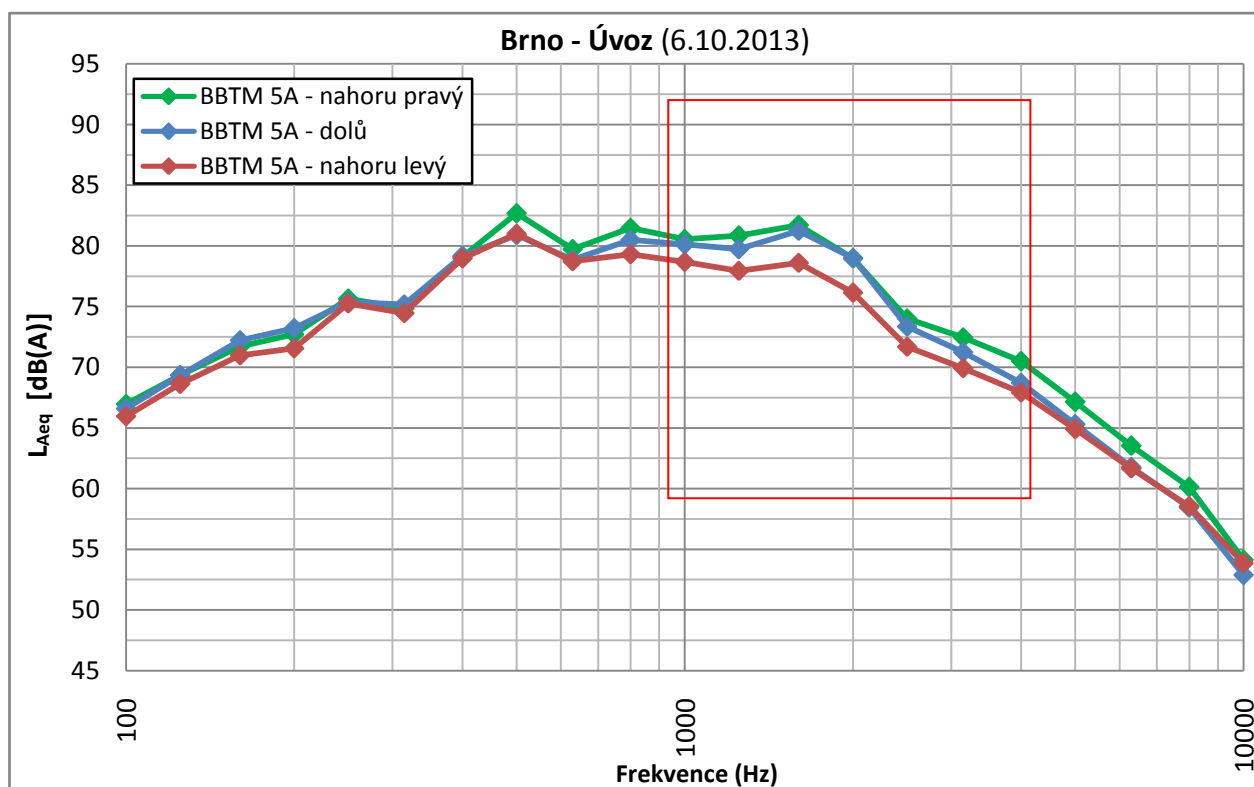


Obr. 8.28 : Měřený úsek na ulici Úvoz a její podélný profil

8.3.2.2 Vyhodnocení výsledků měření hluku



Graf 8.27 : Srovnání jednotlivých jízdních pruhů na ulici Úvoz



Graf 8.28 : Hladina akustického tlaku v závislosti na frekvenčních spektrech (50km/h)

8.3.2.3 Shrnutí a závěr

Naměřené hodnoty jsme rozdělili do tří úseků, podle toho jak jsme ulicí Úvoz projížděli. Snažili jsme o projetí rychlostmi 40, 50, 60 a 70 km/h, ovšem vzhledem ke klesání/stoupání a provozu nebylo vždy možné rychlost udržet na těchto hodnotách zcela přesně. Nejnížší hlučnost jsme naměřili na levém stoupacím pruhu, který je veden středem komunikace. Oproti tomuto hodnoty naměřené v pravém stoupacím pruhu pro autobusy byly v rozmezí 40 až 70 km/h o 0,3 až 1 dB horší. Nejhůře dopadl jízdní pruh v klesání, jehož hladina akustického tlaku se v rozmezí od 40 do 70 km/h pohybovala o 0,7 dB až 1,5 dB výše. Tyto rozdíly v hlučnosti mohou být způsobeny velkým množstvím poklopů na vodovodní a plynové rozvodné sítě (avšak extrémy při vyhodnocení byly vyloučeny, přesto je zde vyšší hlučnost při nižších frekvencích hluku) a zejména ovlivněním průběhu měření jinými zdroji hluku než je interakce mezi pneumatikou a vozovkou. K udržování požadované rychlosti jsme totiž namísto brzdění motorem používali brzdovou soustavu vozidla (viz vyšší hlučnost při vysokých frekvencích). U jízdního pruhu pro autobusy, ve kterém jsme také naměřili vyšší hodnoty hluku, může jít o odchylky způsobené nejednotnou realizací ohrančovací vrstvy a vodorovným dopravním značením s vyznačením pruhu pro BUS, TAXI a cyklisty.

8.3.3 Česká

8.3.3.1 Popis úseku

Jde o úsek na ulici Hradecká směrem od obce Česká na Ivanovice, který spadá do kategorie rychlostní komunikace, značená jako R43. R43 je součástí silnice I/43 a je známá jako Svitavská radiála, jejíž šířkové uspořádání ji řadí do návrhové kategorie R24,5. Slouží jako směrově rozdělený, čtyřpruhový přivaděč do města Brna, po kterém denně projede až 32100 vozidel. Původní rychlostní silnice R43 se začala stavět jako součást jedné z prvních dálnic na našem území ještě v době před II. světovou válkou. Byl vypracován projekt 320 km dlouhé spojnice dvou největších měst tehdejšího Německa – Vídně a Wroclawi. Stavba začala v roce 1939, ovšem z ekonomických důvodů byly práce roku 1942 zastaveny. Z celkové délky bylo rozestavěno jen 85 km mezi Městečkem Trnávka a obcí Hrušovany.



Obr. 8.29 : Vyznačení měřených úseku v obci Česká

Po válce již nebyla výstavba R43 obnovena, byl dokončen pouze čtyřkilometrový úsek Troubsko – Bystrc známý dnes pod názvem Hitlerova dálnice. Dnešní R43 se začala stavět směrem od Brna a první její úsek byl vlastně pouhou výpadovkou z města. Dalším úsekem byla na poč. 90. let prodloužena až za obec Česká. Tady dnes rychlostní komunikace končí a doprava je zde svedena na současnou silnici I/43. Prodloužena být zatím nemůže, neboť není jisté kam. Toto dnešní torzo provozované R43 totiž ve skutečnosti vůbec nemá být onou rychlostní komunikací R43, která má spojit sever s jihem. [37].



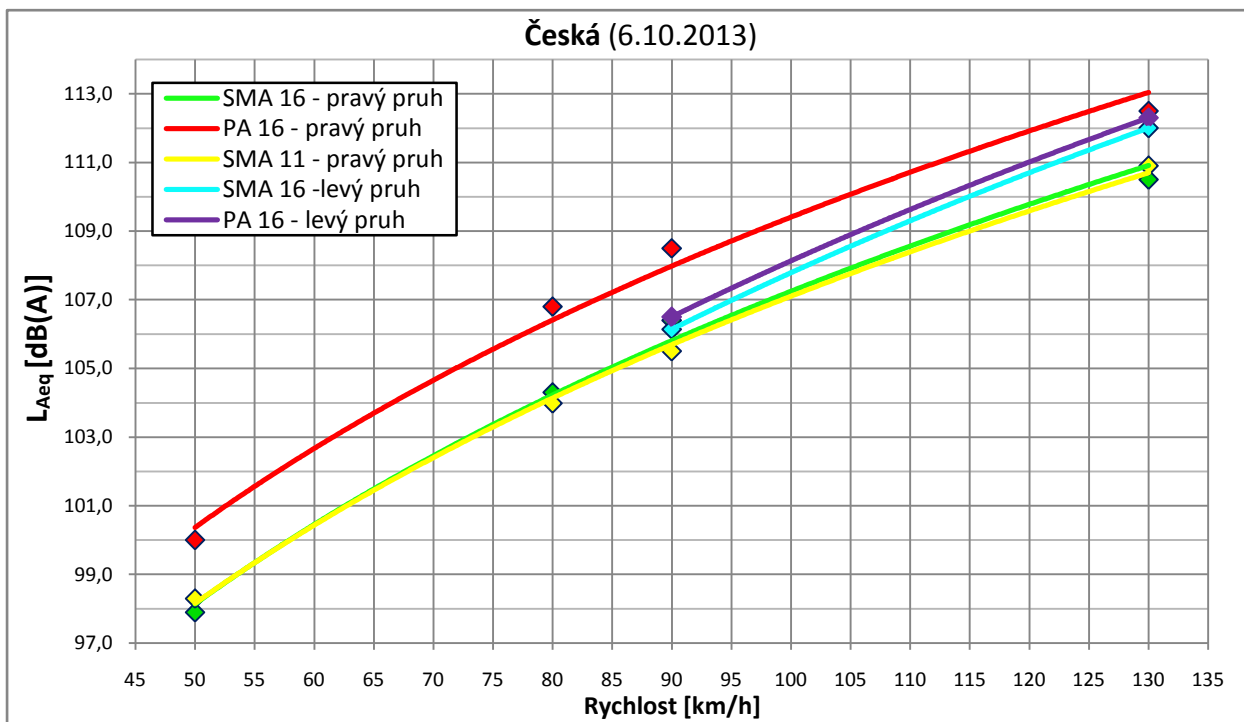
Obr. 8.30 : Směrově rozdělená komunikace na ulici Hradecká u obce Česká [37]

Měření na R43 probíhalo nejprve v pravém (pomalém) jízdním pruhu, ve kterém byla v roce 1998 směrem od

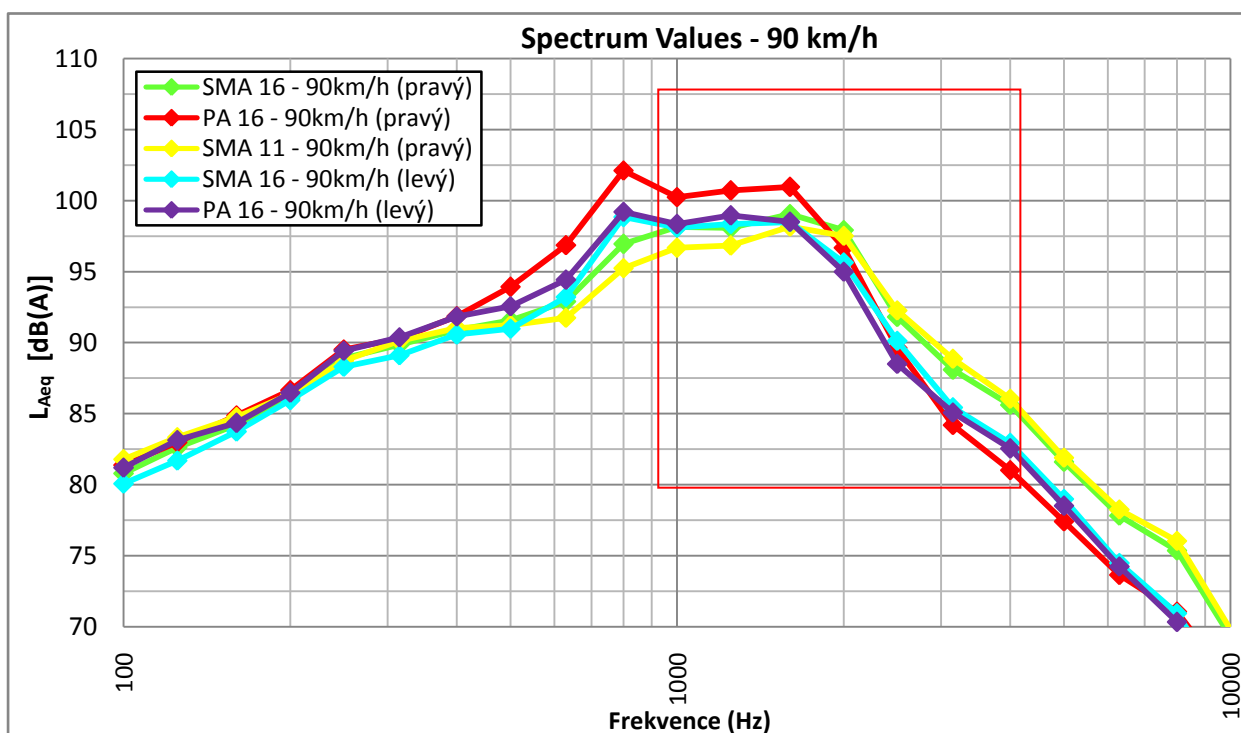
Kuřimi položena 1100 m dlouhá vrstva asfaltového koberce mastixového SMA 16, na který navazuje koberec drenážní PA 16 položený v roce 2003 o celkové délce 200 m, poté následuje 300 m dlouhá vrstva SMA 11 z roku 2008. Zmíněné povrchy jsme pojížděli rychlostí 50, 90 a 130 km/h.

V levém (rychlém) jízdním pruhu směrem od Kuřimi je položeno 1400 m SMA 16 a na ten navazuje přibližně 200 m PA 16, na obou površích jsme jeli nejdříve 90 a poté 130 km/h. Pro otáčení jsme využívali exit č. 4 na Ivanovice a exit č.7 směrem na Lelekovice a Českou.

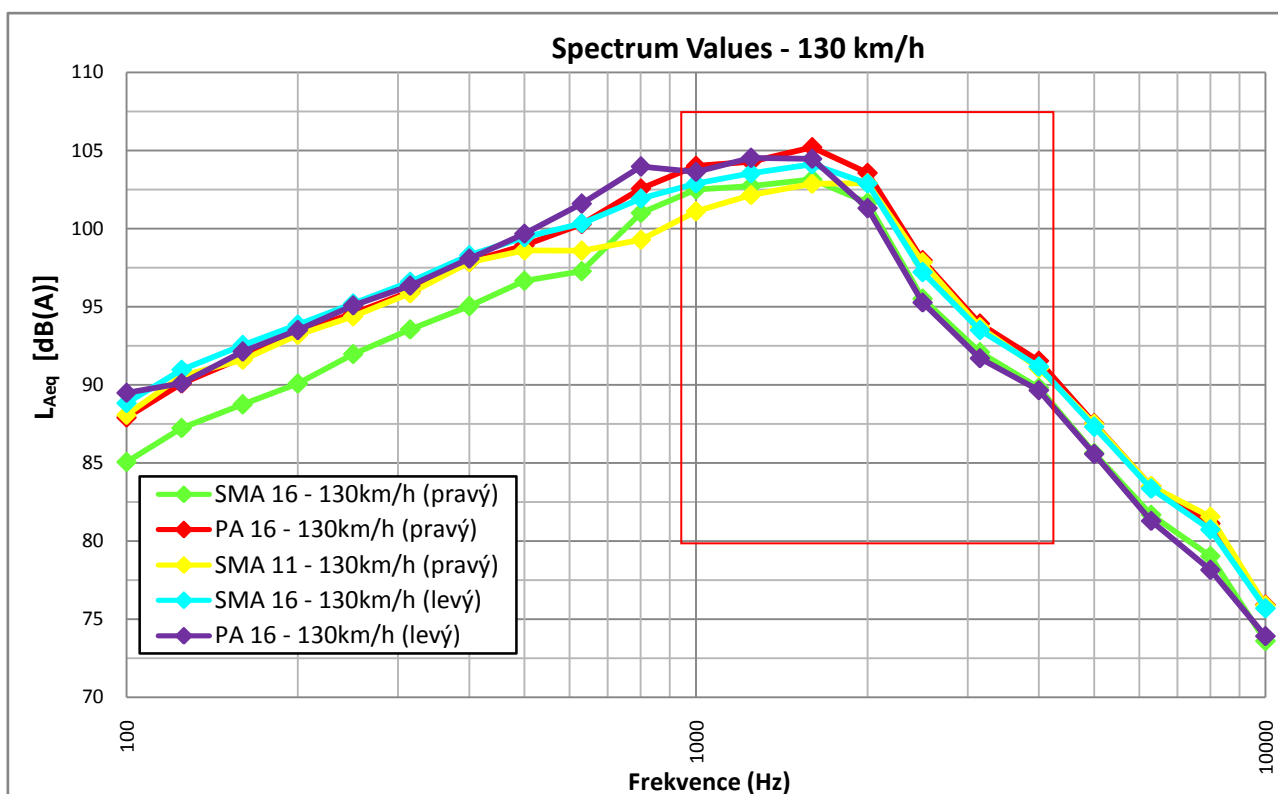
8.3.3.2 Vyhodnocení výsledků měření hluku



Graf 8.29 : Výsledky hladiny akustického tlaku jednotlivých jízdních pruhů v závislosti na rychlosti



Graf 8.30: Frekvenční spektra z měření na ulici Hradecká u obce Česká (90km/h)

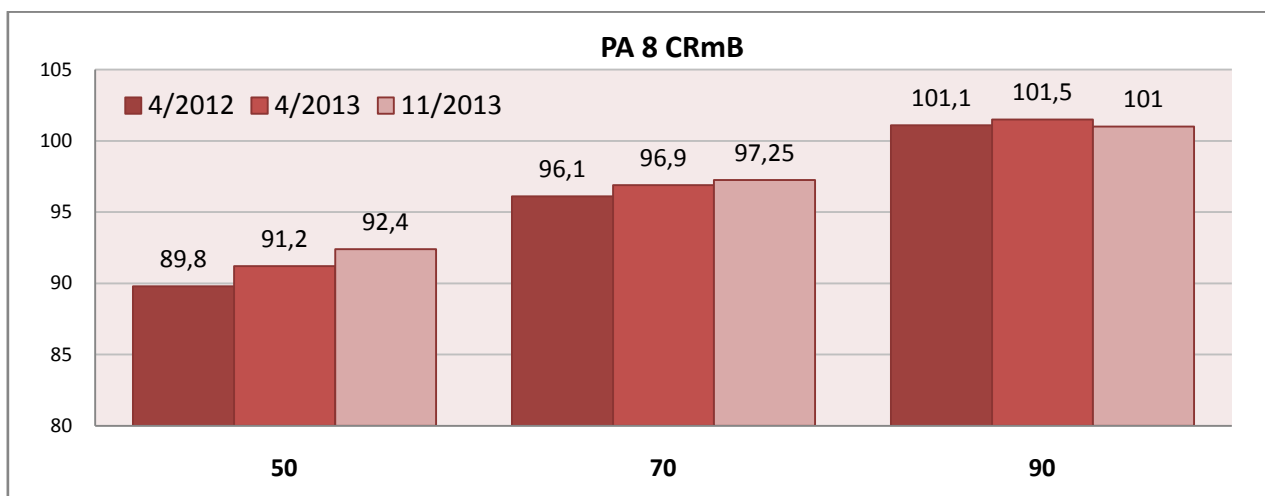


Graf 8.31 : Frekvenční spektra z měření na ulici Hradecká u obce Česká (90km/h)

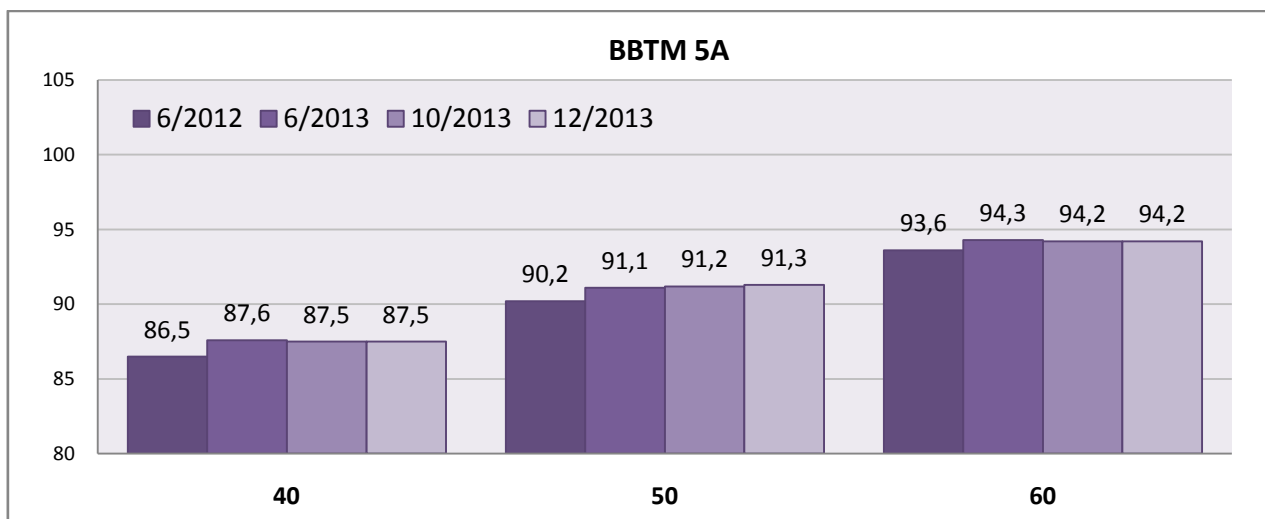
8.3.3.3 Shrnutí a závěr

V grafech výše je vyhodnoceno měření na ulici Hradecká poblíž obce Česká. Nejprve se zaměříme na pravý (pomalý) jízdní pruh, ve kterém z hlediska hlučnosti dopadly nejlépe povrchy z asfaltového koberce mastixové SMA 11 a SMA 16 jejichž výsledky jsou prakticky totožné. K mému překvapení si vedl nejhůře asfaltový koberec drenážní s největší frakcí kameniva 16 mm (PA 16), který ve všech rychlostech vykázal o 2 až 2,5 dB vyšší hlučnost než obě mastixové vrstvy. Levý (rychlý) jízdní pruh, byl vzhledem k provozu, pojížděn pouze rychlostmi 90 a 130 km/h. I zde se ukázalo, že SMA 16 je na tom z hlediska hlučnosti o malinko lépe než asfaltový koberec drenážní PA 16. Pokud se na výsledky podíváme bez rozdílu jízdních pruhů, můžeme konstatovat, že nejlépe si vedli SMA 11 a SMA 16 v pravém (pomalém) jízdním pruhu. O 0,7 dB při rychlosti 90 km/h až o 1 dB při rychlosti 130 km/h dopadl hůře SMA 16 v levém (rychlém) jízdním pruhu. PA 16 v levém (rychlém) jízdním pruhu je přibližně o 0,3 dB více hlučný než SMA 16. Celkově nejhorší protihlukové výsledky v tomto úseku vykázal asfaltový koberec drenážní PA 16 položený v pravém (pomalém) jízdním pruhu, který i z hlediska frekvenčního spektra (Grafy 8.30 a 8.31) nenaplnil svá očekávání. Možnou příčinou neuspokojivého výsledku drenážních povrchů jsou plochy s příčnými trhlinami a dalším důvodem může být již několikrát zmíněné zanesení pórů těchto vrstev značným množstvím nečistot a tím do jisté míry redukována schopnost pohlcovat hluk vznikající na kontaktní ploše mezi pneumatikou a vozovkou.

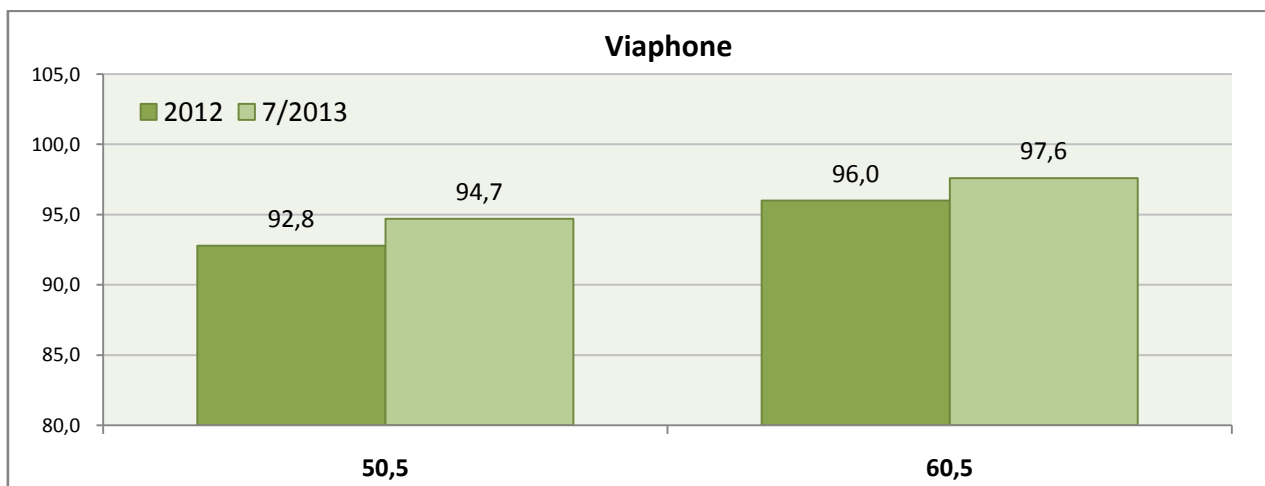
8.4 Zhoršování směsí s mezerovitostí



Graf 8.32 : Zhoršování protihlukových vlastností PA 8 CRmB



Graf 8.33 : Zhoršování protihlukových vlastností BBTM 5 A



Graf 8.34 : Zhoršování protihlukových vlastností směsi Viaphone

8.5 Oprava vstupních údajů pro výpočtové modelování hluku

Pro výpočtové modelování jsou nezbytné správné vstupní údaje. Jedním z těchto údajů je faktor druhu krytu. Hodnoty tohoto faktoru F_3 se určují takto:

Pro výpočtové rychlosti do 50 km/h se používá pro faktor F_3 číselná hodnota 1,0, a to pro všechny druhy asfaltobetonových i cementobetonových krytů vozovek. Pro tentýž rozsah výpočtových rychlostí je pro kryt z drobné dlažby číselná hodnota F_3 rovna 2,0, pro kryt z hrubé dlažby je číselná hodnota rovna 4,0. Pro výpočtové rychlosti nad 50 km/h jsou hodnoty koeficientu F_3 pro všechny druhy krytů vozovek uvedeny v tabulce 3. [43]

Kategorie	Druh krytu	F_3
A	Kryt z asfaltového betonu ACO 8 (dříve ABJ), ACO 11 (dříve ABS)	1,0
	Kryt z asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy BBTM 5 (dříve AKTVJ), 8 (dříve AKTJ), 11 (dříve AKTS)	
	Kryt z asfaltového koberce mastixového SMA 4, 5 (dříve AKMVJ), 8 (dříve AKMJ), 11 (dříve AKMS)	
	Litý asfalt MA 8 (dříve LAJ)	
	Kryt z asfaltového koberce drenážního PA 8, PA 11, PA 16	
	Kryt z asfaltového betonu ACO 16 (dříve ABH)	1,1
	Kryt z asfaltového koberce mastixového SMA 16 (dříve AKMH) nebo jiné koberce se zrnitostí do 16mm	
	Litý asfalt MA 11 (dříve LAS)	
	c Mikrokoberec prováděný za studena se zrnitostí do 8mm	1,2
	d Litý asfalt MA16 (dříve LAD nebo LAH)	1,3
B	a Cementobetonový kryt s úpravou povrchu pomocí tažené tkaniny CB	1,0
	b Cementobetonový kryt s příčným zdrsněním jemným koštětem	1,1
	c Cementobetonový kryt s příčným zdrsněním hrubým koštětem (ocelovým)	1,5
C	a Kryt z dlažby z přírodního kamene z drobných kostek DL 80 až 120	2,0
	b Kryt z dlažby z přírodního kamene z velkých kostek DL 140 až 160	4,0

Tabulka 3: Hodnoty koeficientu F_3 pro různé druhy povrchu krytu vozovek

Obr. 8.31 : Tabulka faktoru F_3 pro různé druhy povrchu krytu vozovek dle TP 219 [43]

Tabulku koeficientů faktoru F_3 jsem se pomocí realizovaných měření snažil ověřit. Na základě vyhodnocení ekvivalentních hladin akustického tlaku L_{Aeq} jednotlivých obrusných vrstev a jejich vzájemného porovnání jsem dospěl k tomu, že je nutné vstupní hodnoty faktoru F_3 opravit. Z toho vyplývá, že modelování pomocí stávajících hodnot hluku není spolehlivé a hodnoty musí být tedy upřesněny. Na základě výsledků získaných z měření jsem tabulku 3 upravit následovně:

Kategorie	Druh krytu	F_3
A	Kryt z asfaltového betonu ACO 8	1,00
	Kryt z asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy BBTM 5, 8, 11	0,70
	Kryt z asfaltového koberce drenážního PA 8	0,85
	Kryt z asfaltového koberce mastixového SMA 11	1,00
	Kryt z asfaltového betonu ACO 11	1,25
C	Kryt z dlažby z přírodního kamene z drobných kostek DL 80 až 120	15,00

Tab. 5 : Upravené hodnoty koeficientu F_3 pro různé druhy povrchu krytu vozovek

Tabulka obsahuje nově vypočítané koeficienty, které byly doplněny na základě měření metodou CPX. Hodnota 1,0 byla ponechána pro asfaltový beton ACO 8. Na základě rozdílů jeho hlučnosti v porovnání s hlučností povrchů dále uvedených jsem vyjádřil ostatní koeficienty faktoru F_3 . Pro výpočet nových hodnot jsem použil rovnici $Y = 10 \cdot \log(x)$ kde Y je rozdíl ekvivalentních hladina akustického tlaku porovnávaných povrchů, je vyjádřen v decibelech, x je bezrozměrná hodnota faktoru F_3 .

Vzhledem k tomu, že z časových důvodů nebylo možné měřením ověřit faktory F_3 i pro ostatní druhy krytů, je nezbytné v dohledné době provést další měření, aby mohla být tabulka zcela doplněna.

9 ZÁVĚR

Hluk lze považovat za environmentální znečištění, protože má negativní vliv na společnost a snižuje životní úroveň. Tudíž je nutné se touto problematikou podrobně zabývat a snažit se ho co nejvíce redukovat. K snižování dopravního hluku je důležité umět dopravní hluk změřit a získané výsledky správně vyhodnotit. Vyhodnocování dopravního hluku šířícího se od pozemních komunikací je složitý proces, do kterého nevstupuje pouze jeden faktor, ale je jich celá řada. Jeden z těchto faktorů je vliv povrchu vozovky a s ním spojený hluk vznikající na kontaktní ploše mezi pneumatikou a vozovkou.

Cílem této práce bylo provést měření hluku z interakce pneumatika/vozovka na různých obrusných vrstvách, jak na tzv. protihlukových, tak na běžně používaných asfaltových betonech a z těchto výsledků určit přínos nových technologií.

Výsledky měření prokázali, že v porovnání s běžnými AC vrstvami mají protihlukové kryty vozovek nesporný přínos. Ovšem postupem času dochází k jejich opotřebení a protihlukové vlastnosti se mírně zhoršují. Měření se převážně zaměřovalo na asfaltové směsi s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem. Jednou z takových směsí je asfaltový koberec drenážní PA 8 CRmB (mezerovitost až 22%), od kterého se před měřením očekávali výborné výsledky, a to z toho důvodu, že struktura i textura směsi má mít, ze znalosti mechanismů vzniku a zesílení hluku, protihlukové vlastnosti ve velkém rozsahu frekvencí. Měření ovšem ukázalo, že postupem času dochází k zanášení směsi nečistotami a tím jsou její protihlukové schopnosti částečně redukovány. Od roku 2012, kdy bylo na úseku s PA 8 CRmB v Zádveřicích provedeno první měření, do doby měření koncem roku 2013, došlo ke zhoršení protihlukových vlastností v rozmezí 1,1 až 2,5 dB (graf 8.32). Toto vedlo k tomu, že se následně začalo zkoumat, jak tuto situaci vyřešit, až se dospělo k vyvinutí nové asfaltové směsi ovšem s menší mezerovitostí zvanou asfaltový koberec pro velmi tenké vrstvy BBTM CRmB. Na vývoji této směsi se podílela stavební fakulta VUT v Brně v čele

s panem prof. Ing. Janem Kudrnou, CSc. Směs má menší mezerovitost, tudíž zde vliv zanášení póru není tak velký jako u PA 8 CRmB. Podle výsledků měření i tato směs ukázala, že po roce provozu došlo k zhoršení jejích protihlukových vlastností. Ovšem tento trend se podle dalších měření (provedených o 6 měsíců později), zastavil a více nepokračoval. Zhoršení za tento jeden rok odpovídalo zvýšení hlučnosti povrchu v průměru o 1 dB (8.33). Ovšem i s tímto zhoršením činil rozdíl v emisi hluku oproti původnímu asfaltovému betonu 3 až 5 dB ve prospěch BBTM. Toto snížení odpovídá poklesu intenzity dopravy přibližně o 55 až 70%.

Výhodou protihlukových krytů je, že snižují hladinu akustického tlaku přímo u zdroje. To znamená, že na vzdálenosti 20 cm dojde ke snížení L_{Aeq} o výše zmíněných 3 až 5 dB (BBTM). Tudíž použitím těchto vrstev můžeme zcela nahradit výstavbu drahých a mnohdy také nevhodných protihlukových stěn nebo zemních valů.

Práce dále směřovala k ověření vstupních údajů (faktor druhu krytu) pro účely výpočtového modelování hluku. Na základě naměřených ekvivalentních hladin akustického tlaku L_{Aeq} jednotlivých povrchů a jejich vzájemného porovnání jsem upravil tabulku 3 v technických podmínkách TP 219, která je důležitým podkladem pro výpočet celkové L_{Aeq} ze silniční dopravy.

Z hlediska měření metodou CPX by bylo vhodné si určit referenční úsek (nejlépe mimo veřejnou komunikaci), na kterém by se zkoumal vliv opotřebování dezénu referenční pneumatiky, hodnoty tlaku vzduchu v pneumatice, teploty vzduchu a povrchu na emisi hluku vznikajícího na kontaktní ploše mezi pneumatikou a vozovkou. Tyto vlivy následně pomocí koeficientu vyčíslit a při vyhodnocování ho zahrnout do výsledné ekvivalentní hladiny akustického tlaku L_{Aeq} .

Závěrem tedy můžeme říct, že účinky toho protihlukového opatření jsou zcela jistě velkým přínosem. Je ale nutné, aby měření pomocí stejné metody (CPX s pneumatikou přímo na vozidle) nadále pokračovala, a to z důvodu pozorování protihlukových vlastností směsí při dlouhodobém působení dopravního zatížení a okolních vlivů

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] **Smutný, Jaroslav, Pazdera, Luboš a Gottvaldová, Jana.** *Hluk na styku pneumatika - vozovka.* [Online] 18. leden 2012. [Citace: 20. prosinec 2013.] <<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/hluk-na-styku-pneumatika-vozovka/>>.
- [2] **Gottvaldová, Jana.** *Automobilový hluk.* [Online] 26. srpen 2011. [Citace: 20. prosinec 2013.] <<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/automobilovy-hluk/>>.
- [3] **Valentin, Jan a Mondschein, Petr.** *Snižování hluku možnými úpravami obrusné vrstvy vozovky.* [Online] 7. prosince 2010. [Citace: 20. prosinec 2013.] <<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/snizovani-hluku-moznymi-upravami-obrusne-vrstvy-vozovky/>>.
- [4] **Vandasová, Zdeňka.** *Zdroje hluku a jeho měření.* [Online] 3. prosinec 2007. [Citace: 20. prosinec 2013.] <<http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdroje-hluku-a-jeho-mereni>>.
- [5] **Kudrna, Jan a Dašek, Ondřej.** *Využití gumoasfaltového pojiva do obrusných vrstev vozovek.* [Online] 7. srpen 2007. [Citace: 20. prosinec 2013.] <http://www.casopisstavebnictvi.cz/vyuziti-gumoasfaltoveho-pojiva-do-obrusnych-vrstev-vozovek_N277>.
- [6] **Hela, Rudolf.** *Přehled vlastností pohltivých protihlukových stěn na českém trhu.* [Online] 25. Květen 2010. [Citace: 20. prosinec 2013.] <<http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=3475>>.
- [7] **Wikipedia.** *Zvuk.* [Online] 15. prosinec 2013. [Citace: 20. prosinec 2013.] <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Zvuk>>.
- [8] **Gasfalt.** *Směsi vyrobené z gumoasfaltu.* [Online] G ASFALT © 2012. [Citace: 20. prosinec 2013.]
- [9] **Gasfalt.** *O gumoasfaltu.* [Online] G ASFALT © 2012. [Citace: 20. prosinec 2013.] <<http://www.gasfalt.cz/index.php/cz/>>.
- [10] **Bernat, Petr.** *Akustika, vznik a šíření zvuku, frekvenční analýza a syntéza, sluchový vjem zvukového signálu.* [Online] 13. duben 2005. [Citace: 20. prosinec 2013.] <http://homen.vsb.cz/~ber30/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm>.
- [11] **Wikipedia.** *Sound pressure.* [Online] 19. prosinec 2013. [Citace: 20. prosinec 2013.] <http://en.wikipedia.org/wiki/Sound_pressure>.
- [12] **Pešta, Jan.** *Hluk ze silniční dopravy.* [Online] 9. listopad 2011. [Citace: 20. prosinec 2013.] <http://dopravnifederace.cz/_files/file/Hluk-ze-silni%C4%8Dn%C3%AD-dopravy-Pesta-1.pdf>.
- [13] **Valentin, Jan.** *Technologie pro snižování hluku ze silniční dopravy.* [Online] 1. prosinec 2012. [Citace: 20. prosinec 2013.] <<http://d2051.fsv.cvut.cz/predmety/stpk/p-protihlukovetechnologie.pdf>>.

- [14] **Vágnerová, Monika.** *Základy akustiky*. [Online] 13. květen 2013. [Citace: 21. prosinec 2013.] <<http://www.greif.cz/download/its075-zaklady-akustiky-prirucka-pro-zacatecniky.pdf>>.
- [15] **Schauer, Pavel.** *Vybrané statě z akustiky*. [Online] 15. duben 2008. [Citace: 21. prosinec 2013.] <http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka_schauer/vybrane_state_z_akustiky.pdf>.
- [16] **Ponížil, Petr.** *env_fyzika*. [Online] 7. červen 2010. [Citace: 21. prosinec 2013.] <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_03.pdf>.
- [17] **VŠB-Kat.337.** *Akustika - měření hluku*. [Online] 13. prosinec 2005. [Citace: 20. prosinec 2013.] <http://www.337.vsb.cz/materialy/experimentalni_mechanika/MERENI_HLUKU.pdf>.
- [18] **Kašpar, Jiří a Bureš, Petr, Eurovia Services, s.r.o., Praha.** *VIAPHONE® – Tenká obrusná vrstva s nízkou hlučností*. [pdf] 2011.
- [19] **Bernhard, Robert a Roger, L Wayson.** *An Introduction to Tire/Pavement Noise of Asphalt Pavement*. [pdf] 2004.
- [20] **Varaus, Michal.** *Nízkohlučné asfaltové koberce mastixové*. [pdf] Vysoké učení technické v Brně : Fakulta stavební, 2011.
- [21] **ČSN ISO 11819-1.** *Akustika - Měření vliv povrchu vozovek na dopravní hluk - Část 1: Statická metoda při průjezdu*. Praha : Český normalizační institut, 2000.
- [22] **Gottvaldová, Jana.** *Dopravní hluk*. [prezentace Powerpoint] Vysoké učení technické v Brně : Fakulta stavební, 2012.
- [23] **Křivánek, Vítězslav.** *Hluk z dopravy, Strategické hlukové mapy, hodnocení hluku*. [prezentace Powerpoint] Brno : Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2013.
- [24] **Smutný, Jaroslav.** *Železniční konstrukce*. [prezentace Powerpoint] Brno : autor neznámý, 2013.
- [25] **Křivánek, Vítězslav.** *Hluk z dopravy, snižování hlukové zátěže ze silniční dopravy*. [prezentace Powerpoint] Brno : Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2013.
- [26] **Křivánek, Vítězslav.** *Problematika hlučnosti povrchů vozovek*. [prezentace Powerpoint] Brno : Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2010.
- [27] **Jiří Kachtík, Jan Kudrna, Ondřej Dašek.** *Zkušenosti s výrobou asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem*. [pdf] Brno : Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2013.
- [28] **Ondřej Dašek, Jan Kudrna.** *Vrstvy vozovek s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem*. [pdf] Brno : Gasfalt, 2013.
- [29] **Mejzlík, Martin.** *Vyhodnocení hlukových emisí protihlukových povrchů vozovek*. Brno : Vysoké učení technické. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací, 2012. 54 s, Vedoucí diplomové práce Prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.

- [30] **Jan Zdeněk, Žďánský Bronislav., Čupera Jiří.** *Automobily 1 - Podvozky*. Brno : AVID spol.s r.o, 2009.
- [31] **Hluk & Emise.** *Vliv hluku na zdraví*. [Online] © 2007 hluk&emise. [Citace: 20. prosinec 2013.] <<http://hluk.eps.cz/hluk/vliv-hluku-na-zdravi/>>.
- [32] **Ministerstvo vnitra ČR.** *Nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*. [Online] © 1996-2014 Nakladatelství Sagit. [Citace: 21. prosinec 2013.] <http://www.sagit.cz/pages/uztxt.asp?tema_id=1354&cd=165&typ=r&refresh=yes&det=&lvelid=699938&datumakt=1.6.2006&full=y>.
- [33] **ISO/CD 11819-2.** *Acoustics - Measurement of the influence of road sudfaces on traffic noise - Part 2: The close-proximity method*. [pdf] 2007.
- [34] **Jirsák, Martin a Stěnička, Jan.** *Sluch, muzikantův přítel i nepřítel*. [Online] 15. Leden 2014. [Citace: 15. Leden 2014.] <<http://www.audified.com/projekt/vavcjamu/page58/page69/page69.html>>
- [35] **Robinson, David.** *Equal Loudness Filter*. [Online] 17. prosinec 2013. [Citace: 12. leden 2014.]<http://replaygain.hydrogenaudio.org/proposal/equal_loudness.html>
- [36] **Křivánek, Vítězslav.** *Problematika hlučnosti povrchů vozovek*. [Online] 19. březen 2010. [Citace: 12. leden 2014.] <<http://www.cdv.cz/file/seminar-skanska-problematika-hlucnosti/>>.
- [37] **Slovík, Jan.** *Rychlostnice R43*. [Online] 15. březen 2012. [Citace: 8. leden 2014.] <<http://www.dalnice.com/>>
- [38] **Kudrna, Jan, Urbanec, Květoslav a Kachtík, Jiří.** *Nové technologie údržby a oprav asfaltových vozovek se zaměřují na úsporu materiálu a snížení hluku*. [Online] 19. listopad 2013. [Citace: 8. leden 2014.] <<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/nove-technologie-udrzby-a-oprav-asfaltovych-vozovek-se-zameruji-na-usporu-materialu-a-snizeni-hluku/>>.
- [39] **Matějka, Tomáš.** <http://www.consultest.cz/vliv-povrchovych-vlastnosti-vozovek-na-nehodovost>. <http://www.consultest.cz/>. [Online] © 2014. [Citace: 12. leden 2014.] <http://www.consultest.cz/vliv-povrchovych-vlastnosti-vozovek-na-nehodovost>.
- [40] **RPG Recycling.** *U Liptálu na Vsetínsku byl položen tichý povrch vozovky*. www.rpgrecycling.cz. [Online] 11. prosinec 2013. [Citace: 10. leden 2014.] <http://www.rpgrecycling.cz/2013/12/11/u-liptalu-na-vsetinsku-byl-polozen-tichy-povrch-vozovky/>.
- [41] **Miloš Liberko a kol.** *Hluk v životním prostředí*. *Planeta*. 2005, Sv. XII, 2.
- [42] **Purtova, Alina.** *Vývoj akustické zátěže v intravilánu dopravně významné komunikace*. Praha : Česká zemědělská univerzita. Fakulta životního prostředí. Katedra vodního hospodářství a enviromentálního modelování, 2013. 61 s, Vedoucí diplmové páce doc. Mgr. Marek Vach, PhD.

- [43] **EDIP s.r.o.** *Dopravně inženýrská data pro kvantifikaci vlivů automobilové dopravy na životní prostředí*. Liberec : EDIP s.r.o., 2009.
- [44] **Spies, Karel.** *Zpráva o měření protihlukových vlastností povrchů vozovek – silnice I/49, lokalita Zádveřice* [pdf], Brno - Kuřim, 2012

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 2.1 : Sluchové pole [22]*
- Obr. 2.2 : Souvislost mezi akustickým tlakem a hladinou akustického tlaku [34]*
- Obr. 2.3 : Křivky váhových filtrů A,B,C; A- nejrozšířenější, B,C - historické [35]*
- Obr. 2.4 : Ekvivalentní hladina akustického tlaku [24]*
- Obr. 2.5 : Frekvenční spektrum hladiny hluku*
- Obr. 3.1 : Podíl jednotlivých zdrojů dopravního hluku [13]*
- Obr. 3.2 : Příspěvek jednotlivých zdrojů automobilového hluku [19]*
- Obr. 3.3 : Konstrukce pneumatiky [30]*
- Obr. 3.4 : Vibrace způsobené dopadem bloků dezénu na povrch vozovky [19]*
- Obr. 3.5 : Sání vzduchu na jeho vstupu a výstupu z kontaktní plochy [19]*
- Obr. 3.6 : Tangenciální pohyb dezénových bloků po povrchu vozovky [19]*
- Obr. 3.7 : Adheze mezi bloky dezénu a povrchem na konci kontaktní plochy [19]*
- Obr. 3.8 : Tzv. efekt trubky vytvořený pomocí pneumatiky a vozovky [19]*
- Obr. 3.9 : Zesílení hluku způsobené rezonancí vzduchu a kanálky ve vzorku pneumatiky [19]*
- Obr. 3.10 : Vibrace kostry pneumatiky kolem pásu běhounu a na boční stěně kontaktní plochy [19]*
- Obr. 3.11 : Akustická rezonance vzduchu uvnitř pneumatiky [19]*
- Obr. 4.1 : Závislost redukce hluku na redukci dopravy [36]*
- Obr. 4.2 : Vliv rychlosti na hluku ze silniční dopravy v závislosti na podílu nákladních vozidel [36]*
- Obr. 4.3 : Tvary protihlukových stěn [25]*
- Obr. 4.4 : Šíření hluku za protihlukovou stěnou v závislosti na výšce stěny [25]*
- Obr. 4.5 : Protihluková stěna Liadur [6]*
- Obr. 4.6 : Protihluková stěna Prefa Akustik [6]*
- Obr. 4.7 : PHS z hlikových panelů [6]*
- Obr. 4.8 : PHS z plastů [6]*
- Obr. 4.9 : PHS ze sklovláknobetonu [6]*
- Obr. 5.1 : Běžný povrch vs. Povrch protihlukový[3]*
- Obr. 5.2 : Snížení o 3 dB odpovídá snížen intenzitě o 50%[3]*
- Obr. 5.3 : Typická struktura porézního asfaltového krytu [19]*

Obr. 5.4 : Typická struktura dvouvrstvého krytu [19]

Obr. 5.5 : Drenážní schopnosti porézních vozovek [19]

Obr. 5.6 : Míchací souprava ECOPATH pro přípravu gumoasfaltového pojiva [5]

Obr. 5.7 : BBTM 5 A [8]

Obr. 5.8 : BBTM 5 B [8]

Obr. 5.9 : BBTM 8 A [8]

Obr. 5.10 : BBTM 8 B [8]

Obr. 5.11 : SMA 8 S [8]

Obr. 5.12 : PA 8 [8]

Obr. 5.13 : ACL 16 [8]

Obr. 5.14 : SAL [8]

Obr. 5.15 : Struktura vymývaného betonu [3]

Obr. 7.1 : Schéma metody SPB při měření hluku [36]

Obr. 7.2 : Požadavky týkající se nepřítomnosti odrazivých nebo stínících svodidel [21]

Obr. 7.3 : Umístění mikrofونů na směrově nerozdělených komunikacích [21]

Obr. 7.4 : Metoda CPX s pneumatikou na přívěsu, krytou proti působení okolních vlivů [3]

Obr. 7.5 : Předepsaná pozice mikrofонů při měření [33]

Obr. 7.6 : Testovací aparatura Tire/Pavement(TPTA) s vzorky namontovanými na měřící ploše [19]

Obr. 8.1 : Měřící sestava osazená na vozidle

Obr. 8.2 : Elektronika nezbytná k měření (zvuková karta a notebook s programem SpectraPLUS)

Obr. 8.3 : Jednotlivé komponenty měřící sestavy

Obr. 8.4 : Aparatura s mikrofony osazená na vozidle, propojení mikrofонů se zvukovou kartou připojenou k počítači

Obr. 8.5 : Ověřování předepsané vzdálenosti mikrofонů

Obr. 8.6 : Pracovní prostředí programu SpectraPLUS(vlevo) a vzorek referenční pneumatiky (vpravo)

Obr. 8.7 : Vyznačení měřených úseků v Pardubicích

Obr. 8.8 : Detailní pohled na povrch vrstev BBTM 5 A (vlevo) a PA 8 CRmB (vpravo) [38]

Obr. 8.9 : Pokládka asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy BBTM 5 A [38]

Obr. 8.10 : Vyznačení měřených úseků v mapě

Obr. 8.11 : Měřící zařízení GripTester[®] (vlevo) a měřící zařízení Hawkeye 1000 na vozidle VW Multivan[39]

Obr. 8.12 : Graf z měření protismykových vlastností povrchu vozovky [38]

Obr. 8.13 : Graf z měření průměrné hloubky textury – MPD[38]

- Obr. 8.14 : Graf z měření podélných nerovností povrchu vozovky – IRI [38]*
- Obr. 8.15 : Pokládka PA 8 v místě křižovatky bez vyloučeného provozu trolejbusů [38]*
- Obr. 8.16: Zájmové úseky na komunikaci I/49 u Zádveřic*
- Obr. 8.17 : Pracovní spára mezi ACO 11 a PA 8 CRmB (vlevo), textura PA 8 CRmB (uprostřed), pracovní spára mezi PA 8 CRmb a SMA11 (vpravo)*
- Obr. 8.18 Úsek z BBTM 5 A mezi Liptálem a Lhotou u Vsetína na komunikaci I/69*
- Obr. 8.19 : Původní povrch vozovky (vlevo) a nová vrstva z BBTM 5 A (vpravo)*
- Obr. 8.20 : Povrch komunikace s BBTM 5 A*
- Obr. 8.21 : Vrstva BBTM 5 A u Liptálu*
- Obr. 8.23 : Podélný profil měřeného úseku*
- Obr. 8.22 : Nově položený úsek z BBTM 8 B v městě Fryšták*
- Obr. 8.24 : Původní kryt vozovky z AC (vlevo), nová konstrukce vozovky z BBTM 8 B (vpravo)*
- Obr. 8.25 : Vyznačení měřených úseků na ulici Veslařská v Brně*
- Obr. 8.26 : Letecký snímek úseku z BBTM 5 A*
- Obr. 8.27 : Původní ACO 16 (dole), nový povrch z BBTM 5 A (nahore)*
- Obr. 8.28 : Měřený úsek na ulici Úvoz a její podélný profil*
- Obr. 8.29 : Vyznačení měřených úseku v obci Česká*
- Obr. 8.30 : Směrově rozdělená komunikace na ulici Hradecká u obce Česká[37]*
- Obr. 8.31 : Tabulka faktoru F_3 pro různé druhy povrchu krytu vozovek dle TP 219 [43]*

12 SEZNAM GRAFŮ

Graf 8.1 : Ekvivalentní hladina hluku srovnávaných povrchů v závislosti na rychlosti

Graf 8.2 : Srovnání protihlukových vlastností pomocí frekvenční analýzy (při 50 km/h)

Graf 8.3 : Sloupcové grafy srovnání ekvivalentní hladiny jednotlivých povrchů při 50 km/h

Graf 8.4 : Závislost ekvivalentní hladiny akustického tlaku na rychlosti

Graf 8.5 : Frekvenční spektrum naměřených hodnot

Graf 8.6 : Porovnání vrstev ACO 8 s PA 8 CRmB v obci Skuteč při různých rychlostech

Graf 8.7 : Hladina akustického tlaku BBTM 5 A v závislosti na staničení

Graf 8.8 : Závislosti ekvivalentní hladiny akustického tlaku na staničení po 20 m segmentech

Graf 8.9 : Srovnání naměřených hodnot z 4/2012 a 11/2013

Graf 8.10 : Srovnání naměřených hodnot 4/2012, 4/2013 a 11/2013

Graf 8.11 : Závislost hladiny akustického tlaku na frekvenčních spektrech pro 50 km/h

Graf 8.12 : Závislost hladiny akustického tlaku na frekvenčních spektrech pro 90 km/h

Graf 8.13 : Srovnání povrchů z roku 2012 a roku 2013 z hlediska frekvenčního spektra při rychlosti 50 km/h

Graf 8.14 : Srovnání naměřených hodnot pro ACO 11

Graf 8.15 : Srovnání naměřených hodnot v listopadu 2013

Graf 8.16 : Srovnání naměřených hodnot v dubnu 2012

Graf 8.17 : Srovnání naměřených hodnot pro PA 8 CRmB

Graf 8.18 : Srovnání naměřených hodnot v dubnu 2013

Graf 8.19 : Srovnání naměřených hodnot pro SMA 11

Graf 8.20 : Porovnání měření ze Zádveřic, Liptálu a Fryštáku

Graf 8.21 : Závislost hladiny hluku na frekvenčních spektrech u povrchů ze Zádveřic, Liptálu a Fryštáku (50 km/h)

Graf 8.22 : Srovnání hladin hluku ze Zádveřic, Liptálu a Fryštáku v závislosti na staničení (50km/h)

Graf 8.23 : Závislost hladiny hluku na frekvenčních spektrech u povrchů ze Zádveřic a Liptálu (90 km/h)

Graf 8.24 : Porovnání ekvivalentních hladin akustického tlaku jednotlivých povrchů na ulici Veslařská a Pionýrská v Brně

Graf 8.25 : Hladina akustického tlaku v závislosti na frekvenčních spektrech (při cca 50km/h)

Graf 8.26 : Srovnání nízkohlučných povrchů PA 8 CRmB a BBTM 5 A

Graf 8.27 : Srovnání jednotlivých jízdních pruhů na ulici Úvoz

Graf 8.28 : Hladina akustického tlaku v závislosti na frekvenčních spektrech (50km/h)

Graf 8.29 : Výsledky hladiny akustického tlaku jednotlivých jízdních pruhů v závislosti na rychlosti

Graf 8.30: Frekvenční spektra z měření na ulici Hradecká u obce Česká (90km/h)

Graf 8.31 : Frekvenční spektra z měření na ulici Hradecká u obce Česká (90km/h)

Graf 8.32 : Zhoršování protihlukových vlastností PA 8 CRmB

Graf 8.33 : Zhoršování protihlukových vlastností BBTM 5 A

Graf 8.34 : Zhoršování protihlukových vlastností směsi Viaphone

13 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 : Hygienické limity venkovního hluku

Tab. 2 : Hygienické limity vnitřního hluku

Tab. 3 : Hodnocení vybraných opatření [25]

Tab. 4 : Porovnání vybraných opatření [25]

Tab. 5 : Upravené hodnoty koeficientu F_3 pro různé druhy povrchu krytu vozovek

14 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

dB	- deciBel
dB(A)	- deciBel při použití váhového filtru A
Hz	- Hertz
Pa	- pascal
SPL	- sound pressure level
L_{pA}	- hladina akustického tlaku s použitím váhového filtru A
L_{eq}	- Ekvivalentní hladina akustického tlaku
L_{Aeq}	- Ekvivalentní hladina akustického tlaku s použitím váhové filtru A
I	- intenzita hluku
p^2	- kvadratická střední hodnota tlaku
ρ	- měrná hmotnost vzduchu
c	- rychlost zvuku ve vzduchu
p	- měřený akustický tlak
p_{ref}	- referenční tlak (pro vzduch $p_{ref} = 2 \cdot 10^{-5}$)
L_{max}	- maximální hodnota hladiny akustického tlaku za sledovaný časový interval
L_{min}	- maximální hodnota hladiny akustického tlaku za sledovaný časový interval
S	- plocha o poloměru r obklopující zdroj

P_a	- celkový výkon
λ	- vlnová délka
MHD	- městská hromadná doprava
PHS	- protihluková stěna
DLR	- vzduchová neprůzvučnost
$DL\alpha$	- zvuková pohltivost
PmB	- asfalt modifikovaný běžným polymerem
CRmB	- asfalt modifikovaný pryžovým granulátem (Crumb Rubber modified Bitumen)
ACO 8	- asfaltový beton pro ohrusné vrstvy, frakce kameniva o maximální velikost 8 mm
ACO 11	- asfaltový beton pro ohrusné vrstvy, frakce kameniva o maximální velikost 11 mm
ACL	- asfaltový beton pro ložní vrstvy
SMA 8	- asfaltový koberec mastixový, frakce kameniva o maximální velikost 8 mm
SMA 11	- asfaltový koberec mastixový, frakce kameniva o maximální velikost 11 mm
SMA 16	- asfaltový koberec mastixový, frakce kameniva o maximální velikost 11 mm
PA 8	- asfaltový koberec drenážní, frakce kameniva o maximální velikost 8 mm
PA 16	- asfaltový koberec drenážní, frakce kameniva o maximální velikost 16 mm
SAL	- Asfaltová vrstva se zvýšenou odolností proti šíření trhlin
BTTM	- asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy
SMA LA	- nízkohlučný asfaltový koberec mastixový
F_3	- faktor F_3
TP	- technické podmínky
SPB	- Statistical Passby
CPX	- Close proximity method
CPB	- Controled Passby
CB	- Coast-By
CPI	- Close Proximity Sound Intensity
OBSI	- Board Sound Intensity method
TPTA	- Tire/Pavement Test Apparatus
ISO/CD	- norma ISO/CD
IRI	- mezinárodní index podélné nerovnosti
MPD	- střední hloubka profilu
MTD	- střední hloubka textury
R43	- rychlostní komunikace č. 43
ČSN EN	- česká technická norma převzatá z normy evropské